

Aleksanteri Lehessaari

Värin automatisointi Brite·X-värimittarilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

8.5.2013

Tekijä Otsikko	Aleksanteri Lehessaari Värin automatisointi Brite·X-värimittarilla
Sivumäärä Aika	42 sivua + 16 liitettä 8.5.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Prosessitekniikka
Ohjaajat	Yliopettaja Veli-Matti Taavitsainen Laatuinsinööri Anssi Lehtovaara
<p>Insinööriyön tavoitteena oli automatisoida kateveden syöttö lingoissa ja näin ollen säästää energiaa ja pitää laatu tasaisena. Automatisointiin käytettiin Brite·X-värimittaria, jota ei ollut saatu toimimaan tehtaalla. Brite·X mittaa kohteen kirkkautta ja antaa lukemaa 0-99 kohteen kirkkauden mukaan. Insinööriyössä tehtäväksi jäi sen kalibrointi, jotta se näyttäisi kiteen väriarvoa yksikössä IU.</p> <p>Linkojen tavoitteena on poistaa sokerikiteiden ympäriltä puhdistuksessa ja kiteytyksessä erotettu emäliuos, joka on hyvin värikästä sokerimehua, jossa on paljon epäsokereita. Linkon jälkeen sokerikiteiden pitäisi olla kuivia ja vaaleita suuren kierrosnopeuden ja kiteiden pesuvetenä toimivan kateveden ansiosta. Katevesi on vettä, joka syötetään linkoon sen pyöriessä tietyllä nopeudella, ja sen tarkoitus on poistaa kiteiden pinnalle kalvona jääneet epäsokerit. Kateveden syötöllä ja sen määrällä on optimikohdat, jotka löydettiin tekemällä lingolle CC-koesuunnitelma. Koesuunnitelmassa tutkittiin kolmea muuttujaa, jotka olivat katevesimäärä, kattamiskierrokset ja linkousaika. Koesuunnitelmasta löydettiin myös sopivat rajat automaation muutoksille.</p> <p>Koesuunnitelmasta löydettiin uudet optimiajoarvot 3-lingolle, joilla saatiin parannettua saantoa 3 %, kun vähennettiin katevettä ja kiteiden pesussa liuennut sokerimäärä pieneni. Säästöjä uusista ajoarvoista syntyy parhaimmillaan 130 000 € vuodessa. Uusiksi ajoarvoiksi valittiin koesuunnitelman jälkeen 7 litraa katevettä, 750 rpm kattamiskierrokset ja linkousajaksi 53 sekuntia.</p> <p>Värimittari kalibroitiin vertaamalla mittarin antamaa arvoa viiden minuutin keskiarvolla laboratoriossa mitattuun väriin. Saaduista arvoista tehtiin kolmannen asteen yhtälö, joka syötettiin automaatiojärjestelmään. Värimittarin syöttämää väriä testattiin kaksi viikkoa. Lopulta mitatun värin ja mittarin antaman väriarvon välillä ollut kuin muutama IU-yksikkö, joten laite saatiin kalibroitua, ja sitä voidaan käyttää mittaamaan liikkuvien sokerikiteiden väriä.</p>	
Avainsanat	värimittari, linko, katevesi, saanto, optimointi

Author Title	Aleksanteri Lehessaari Color automatisation by using Brite·X colorimeter.
Number of Pages Date	42 pages + 16 appendices 8 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	Process Engineering
Instructors	Veli-Matti Taavitsainen, Principal Lecturer Anssi Lehtovaara, Quality Engineer
<p>The aim of this thesis was to automate the washing water feed in centrifuges to save energy and to keep the quality stable. The Brite·X color meter was used to automate the line but had not yet worked for this application. The Brite·X is a color meter which measures the brightness of the subject and gives readings from 0 to 99 according to its brightness. The function of this thesis was to calibrate the meter so it would show the color of the crystal in IU.</p> <p>Centrifuging removes the mother liquid around the crystal which is very colorful and full of non-sugars. After centrifuging, the crystals should be dry and white due to high spin speed and crystal washing water. The washing water is applied part way through the acceleration and is used to increase the purity of the sugar. The amount of washing water and its residence time has an optimal point which can be found using CC-experimental design. Three variables were studied which were washing water amount, washing moment and spinning time. Suitable limits for automation were also found.</p> <p>Experimental design proves that by reducing washing water the yield can be improved by 3 % because less sugar is dissolved. 130 000 € per year can be saved by using the new operating parameters. The new operating parameters are washing water 7 liters, washing moment 750 rpm and spinning time 53 s.</p> <p>The color meter was calibrated by using five minute average meter value and comparing it to the value from the laboratory measurement. The values were transformed into third degree-equation which was fed into automation system. The meter was tested for two weeks and the difference was found to be only a few IU units after calibration period. The meter was successfully calibrated and now can be used in the factory.</p>	
Keywords	color meter, washing water, centrifuge, yield, optimization

Sisällys

1 Johdanto	1
2 Kidesokerin tuotanto	4
2.1 Raakasokeri	4
2.1.1 Sokeri	4
2.1.2 Raakasokeri Porkkalassa	5
2.2 Puhdistus	5
2.3 Keitto	7
2.4 Linkous	8
2.5 Kuivaus ja varastointi	12
3 Laboratorioanalysointi	13
3.1 Värimittaus	13
3.2 Tuhkan ja saannon mittaus	14
3.3 Invertin määrittäminen	14
3.4 Sokerikoostumuksen määrittäminen nestekromatografilla	15
4 Mittarit	17
4.1 Värimittari	17
4.2 Värimittarin kalibrointi	19
4.3 Etäisyysmittari	21
5 Koesuunnittelu	22
5.1 Koesuunnitelma	22
5.2 Regressioanalyysi	27
5.3 Haluttavuus	29
5.4 Vastepintakuvaajat	31
6 Testaus	34
6.1 Optimipisteen testaus	34
6.2 Kalibrointisuoran tarkistus	34
7 Tulokset	36
7.1 Optimoinnin tulokset	36
7.2 Värimittarin tuloksista	37

8 Yhteenveto	39
8.1 Tuloksista	39
8.2 Jatkotoimet	40
Lähteet	41

Liitteet

- Liite 1. Puhtaan sakkaroosiliuoksen ali- ja ylikyllästysalueet
- Liite 2. Kiteytyksen ja linkouksen lohkokaavio
- Liite 3. DNA:n ohjauskuva, värimittarin ja etäisyysmittarin tiedot alareunassa
- Liite 4. Kolmannen asteen yhtälön kalibrintisuora
- Liite 5. Kvadraattinen regressiomalli kolmella muuttujalla
- Liite 6. Regressioanalyysi värille
- Liite 7. Uusi regressioanalyysi värille
- Liite 8. Yhteensopimattomuustesti eli lack of fit test
- Liite 9. Matriisitaulukko värille
- Liite 10. Haluttavuusmatriisitaulukko värille
- Liite 11. Optimointikokeiden tulokset
- Liite 12. Tuotantotaseella laskettu säästö

Lyhenteet ja määritelmät

Brite·X	EMX:n kirkkaussensori, jonka toiminta perustuu valon heijastukseen kohteen pinnalta. Malli on Brite·X 1000S, tässä työssä kutsutaan värimittariksi.
DNA	Dynamic network of applications. Metson kehittämä automaatio-ohjausjärjestelmä.
Emäliuos	Ylikylläinen sakkaroosiliuos, joka sisältää myös inverttisokereita, suoloja ja muita epäsokereita.
Epäsokerit	Kaikki kiteissä olevat yhdisteet, jotka eivät ole sakkaroosia.
HPLC	High Pressure Liquid Chromatography. Korkeapainenestekromatografia.
ICUMSA	International commission for uniform methods of sugar analysis. Sokerin analyttiset mittaukset hyväksyvä organisaatio.
Invertti	Reaktio, jossa sakkaroosi hajoaa D-glukoosiksi ja D-fruktoosiksi.
Katevesi	Linkoon syötettävä vesi, jonka tarkoituksena on poistaa kiteiden pinnalta väriä ja tuhkaa.
Kattamiskierrokset	Lingon pyörimisnopeus hetkellä, jolloin katevesi syötetään linkoon.
Keitto	Puhdistettu sokeriliuos keitetään ja kiteytetään suurissa keittoastioissa.
Konglomeraatti	Useamman kuin kolmen kiteen kideryhmittymä.
Maissi	Keitosta laskettavan kidemassan väliaikainen, sekoitettava säiliö.
Makeavesi	Hyvin laimea sokeriliuos.

Mehu	Liutettua raakasokeria, joka on joko puhdistuksessa tai keitossa.
My Community	DNA:n ohjelman osa, jossa voi tarkkailla säätöpiirien antamia arvoja.
Raakasokeri	Raakasokeritehtailla sokerikasvista tuotettu kide, joka puhdistetaan soke- rinpuhdistamoissa.
Rk	Refraktometrillä määritelty kuiva-ainepitoisuus.
Ryönä	Lingosta poistuva emäliuos ja katevesi, josta tulee seuraavan väritason keittoa.
Rpm	Revolutions per minute. Ilmoittaa pyörimisnopeuden kierrosta minuutissa.
Tuhka	Kiteessä olevia epäorgaanisia yhdisteitä, joita voi kulkeutua siihen kasvis- ta tai prosessista. Analysoidaan johtokyky mittauksella.
3-keitto	2-keiton ryönästä keitettävä keitto, jonka kiteen värin yläraja on 80 IU.

1 Johdanto

Työn tarkoituksena on saada jatkuva värinmittaus aikaiseksi rumpukuivaimen jälkeisellä hihnalla kulkevalle sokerille käyttämällä Brite-X-värimittaria. Toimivan jatkuvatoimisen mittauksen ansiosta väriä on mahdollista säätää pysymään tasaisena annostelemalla lingon katevettä varastoon kulkevan sokerinvärin mukaan. Kateveden säätörajat saadaan tekemälle lingottavalle keitolle koesuunnitelma, jonka tuloksista voidaan nähdä, kuinka paljon katevettä on mahdollista säätää. Koesuunnitelman tarkoituksena on myös optimoida värintasoa paremmaksi lingoissa. Työn tilaajana toimii Suomen Sokeri Oy:n Porkkalan tehtaan sokerinpuhdistamo. Projektiin kuuluu neljän linjan värin automatisointi, mutta projektin laajuuden takia tässä insinöörityössä keskitytään vain yhden linjan värin automatisointiin ja optimointiin.

Suomen Sokerin Osakeyhtiö aloitti toimintansa vuonna 1918, kun kuusi sokeritehdasta yhdistyi. Tällöin Helsingin Sokeritehdas toimi Töölönlahden rannassa, josta se muutti Porkkalaan vuonna 1965 logististen ongelmien takia. Säkylään perustettiin juurikassosokeritehdas vuonna 1950, josta sai alkunsa myös Lännen Tehtaat osakeyhtiö. Vuonna 1989 Suomen Sokerista tuli Cultor Oy, ja vuotta myöhemmin se yhdistyi Lännen Tehtaiden kanssa muodostaen Sucros Oy:n. Myöhemmin Daniscosta tuli Cultor Oy:n omistaja ja vuonna 2009 Danisco myi liiketoimintansa saksalaiselle Nordzucker AG:lle. Suomen Sokeri on säilyttänyt yritysnimensä kaikki nämä vuodet, ja Lännentehtaat omistavat vielä 20 % suomalaisesta sokerituotannosta. (1;2)

Nykyään Suomen ainoa sokerinpuhdistamo on Porkkalan puhdistamo (kuvio 1), jonka vuorokautinen maksimipuhdistuskapasiteetti on noin 650 tonnia. Tilikaudella 2012–2013 tehtaan kokonaistuotanto nestesokerit ja siirapit mukaan lukien oli yli 186 000 tonnia. Sokeripuhdistamon ohessa toimii myös sokerin pakkaamo, jossa pakataan niin suomalaisille tuttua palasokeria kuin sokeria Irlantiin ja Lähi-itään. Nykyään myös erikoistuotteet valmistetaan Suomen Sokerilla, kun ne ennen valmistettiin toisessa yrityksessä. Kaikki valmistuva sokeri analysoidaan tehtaan omassa laatulaboratoriossa. Sokerinpuhdistamon raaka-aineena toimii joko maailmalta tuotava ruokoraakasokeri tai juu-

rikasraakasokeri. Koko tehtaan prosessipuoli toimii Metson DNA (Dynamic network of applications) -automaatiojärjestelmällä. Porkkalan tehtaalla työskentelee noin 180 vakituista työntekijää ja Säkylässä 80. Molemmissa tehtaissa on omat maksimikäyntiaikansa, jolloin tehtaan väkeä lisätään. Koko Euroopan konsernissa on noin 4300 työntekijää. (1;2)

Porkkalan tehdas tilasi tämän projektin tavoitteenaan energiansäästö. Linkojen katevedellä poistetaan väriä sokerikiteistä, mutta ylimääräinen katevesi ei enää poista väriä vaan liuottaa sokerikiteitä, joiden uudelleen kiteytys kuluttaa energiaa. Automatisoimalla kiteen värin säätely voidaan katevettä vähentää, kun kiteen väri on matalampaa kuin normaalisti, ja näin kidettä liukenee vähemmän ja syntyy energiasäästöä kiteytysvaiheissa. Toisaalta kiteen värin ollessa normaalia korkeampaa väritason automatisointi pitää laadun hyväksytyissä rajoissa.

Nykyiset konsernissa toimivat automatisoidut värinmittaukset ovat laitekustannuksiltaan 30-kertaiset verrattuna Porkkalaan hankittuihin laitteisiin. Nykyään kaikki Porkkalla tehtävät värinmittaukset tehdään käsin, eikä tehtaalla ole automaattista värinmittausta käytössä. Harvoin tehtävät värinmittaukset antavat huonosti tietoa kiteen laadunvaihtelusta, ja varastoon saapuvan sokerin väriä on vaikea ennustaa. Jatkuvatoimisen mittauksen onnistuessa sitä olisi mahdollista käyttää muissakin tehtaissa ja muilla tehtaan osa-alueilla, kuten varastosiiloissa ja tulevan sokerin tarkkailussa.

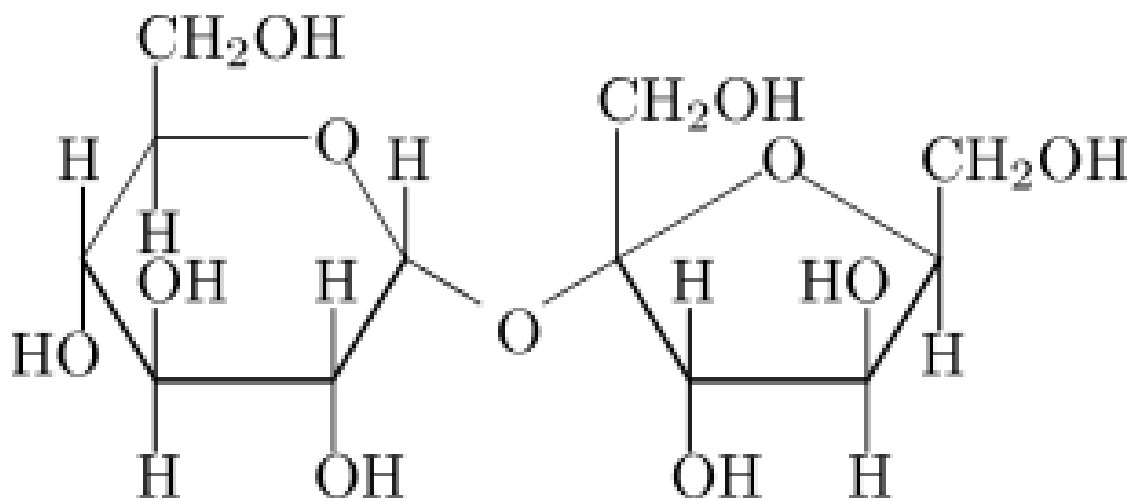


Kuvio 1. Porkkalan Sokerinpuhdistamo (2).

2 Kidesokerin tuotanto

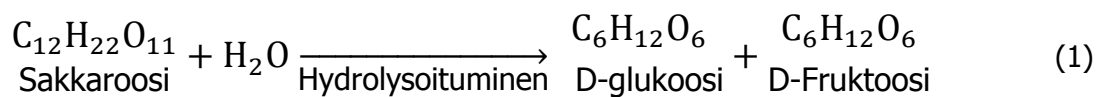
2.1 Raakasokeri

2.1.1 Sokeri



Kuvio 2. Sakkaroosimolekyylä (3).

Sakkaroosi (kuvio 2) eli sokeri kuuluu hiilihydraatteihin ja on polysakkaridi. Arkielämässä tunnemme sen valkeana ja makeana kiteenä, mutta luonnossa se toimii kasvien vararavintona ja onkin siksi luonnollinen energianlähde. Sakkaroosia esiintyy erityisen paljon ruokosokerissa (12–20 %) ja juurikassokerissa (12–22%) riippuen kasvuolosuhteista, ja näistä kasveista sitä erotetaan myös teollisuudessa. Sakkaroosi voidaan hydrolysoida (kaava 1) eli pilkkoa kahdeksi monosakkaridiksi, D-fruktoosiksi ja D-glukoosiksi. Tätä kutsutaan invertoimiseksi ja saatua seosta inverttisokeriksi. (4;5)



Inverttisokeria valmistetaan varta vasten joillekin asiakkaille, sillä se on hyvin makeaa ja pysyy liukoisessa muodossa korkeammassa kuiva-ainepitoisuudessa kuin puhdas sakkaroosi. Nämä tuotteet ovat kuitenkin siirappeja ja nestesokereita, ja valmistettaessa kidesokeria sokerikasvien luonnollinen invertti on ongelma erityisesti rukosokerissa, joten hydrolysoitumista pitää varoa prosessissa. Liuoksissa inverttisokerit ovat suoraa häviötä, sillä niitä ei voi kiteyttää, vaan ne lisäävät kidesokerista puhdistuksessa erottuvan melassin määrää, joka on alemman hintaluokan tuote. (4;6)

2.1.2 Raakasokeri Porkkalassa

Porkkalan sokerinpuhdistamossa tuotetaan sekä kidesokeria että nestesokeria. Molemmille tuotteille on omat raaka-aineensa ja niille omat 50 000 tonnin varastot. Nestesokeria valmistetaan ainoastaan Säkylästä saatavasta juurikassokerista eli niin sanotusta teollisuuskiteestä. Teollisuuskide on suoraan Säkylän tuotannosta ilman siilovarastointia Porkkalaan tuotua kidettä. Säkylän juurikassokeritehtaalla on syyskuusta joulukuuhun käyntikausi, jolloin pelloilta tuotavat juurikassokerit käsitellään. (1;6)

Kidesokerituotanto toimii pääosin päiväntasaajan alueella kasvavasta rukosokerista. Sitä tuodaan latinalaisesta Amerikasta ja maista, joille EU on myöntänyt etuuskohtelu-aseman, suoraan tehtaan omaan syväsatamaan. Tilanteen mukaan voidaan Porkkalaan tuoda myös juurikasraakasokeria muista konsernin tehtaista, ensisijaisesti Ruotsin Örtöftasta. Noin 200 tonnia Säkylän käyntikauden alusta ja lopusta saapuu Porkkalaan puhdistettavaksi juurikasraakasokerina. Säkylästä tuodaan myös valkosokeria suoraan varastosiiloihin, joko pakattavaksi tai myytäväksi suoraan teollisuusasiakkaille. (1;2;6)

2.2 Puhdistus

Saapuessaan ruokoraakasokeri on kellertävää kidettä, joka on käsitelty kertaalleen sokerikasvin korjausmaassa. Rukosokerin kellertävä väri johtuu kiteiden pinnassa olevasta kalvosta eli filmistä, johon on konsentroituneena orgaanisia epäsokereita ja tuhkaa, joka on epäorgaanisia yhdisteitä, kuten suoloja. Rukosokerille on tyypillistä myös

pieni inverttipitoisuus, noin 0,8 %, mikä vaihtelee erien mukaan. Porkkalaan saapuvaa esipuhdistettua sokerijuurikaskidettä kutsutaan juurikasraakasokeriksi. (4;5, s. 91)

Puhdistamon puolelle saapuvasta raakasokerista mitataan laboratoriossa muun muassa tuhka, väri ja invertti. Jos jokin kolmesta arvosta on hyvin korkea, voidaan raakasokeri affinoida eli esipuhdistaa. Affinoinnissa ideana on poistaa kiteen pinnalla oleva epäsokereista koostuva kalvo siirtämällä kalvo affinointisiirappiin. Se on ylikylläistä liuosta, etteivät kiteet pääse liukenemaan siihen. Lopulta affinointisiirapista ja raakasokerikeiteistä muodostunut massa lingotaan pois affinointilingoissa. (5)

Valmiiksi tarpeeksi puhdas raakasokeri tai affinoitu raakasokeri liuotetaan makeaan veteen, joka on hieman sokeria sisältävää vettä, ja annostellaan varsinaiseen puhdistusprosessiin. Puhdistusprosessissa on keskeisenä asiana kiteiden liuotus ja näin syntyneen mehun käsittely, sillä näin saadaan poistettua kiteiden sisälle raakasokeritehtaiden kiteytyksessä päässeet epäsokerit. (4;6)

Liuotus tapahtuu noin 70–80 °C:n lämpötilassa, sillä korkeammissa lämpötiloissa sokeri alkaa karamellisoitua, mikä johtaa värin nousuun. Korkeissa lämpötiloissa voi tapahtua myös Maillard-reaktio, jossa sokerin proteiinit reagoivat tummaksi väriksi aiheuttaen hajua. Näiden reaktioiden takia haihdutukset suoritetaan alipaineessa. (4;7, s. 23)

Liuotuksen jälkeen ja ennen kiteytystä tapahtuvia toimenpiteitä kutsutaan mehunkäsittelyksi. Mehunkäsittelyssä liuoksesta saostetaan yhtälön 2 mukaisesti epäpuhtauksia kalsiumkarbonaatiksi, joka suodatetaan pois raskassuodatuksessa. Muita suodatuksia ovat lisätyn aktiivihillen suodatus, jossa apuaineena käytetään piimaata. Tämän suodatuksen tavoitteena on värin poisto. Kolmantena suodatuksena toimivat hartsisuotimet, jossa hartseihin sitoutuu niin värillisiä kuin värittömiä orgaanisia ioneita. Lopulta puhdistettu mehu haihdutetaan vielä noin 75 Rk:hon eli kuiva-ainepitoisuuteen kolmivaihehaihturissa, josta se ohjataan edelleen odottamaan kiteytystä. Tämä oli hyvin nopea katsaus kidesokerin puhdistusprosessiin sen laajuuden takia. (4;6)



2.3 Keitto

Keitossa eli kiteytyksessä, puhdistettu mehu eli 1-keittomehu kiteytetään valmiiksi sokerikiteiksi. Ennen keittoastioita mehu on esihaihdutettu reiluun 70 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Tämä mehu ohjataan keittoastiaan, josta siitä haihdutetaan vettä alipaineessa (-0,78 bar), jottei lämpötilaa tarvitse nostaa yli 85 °C:seen. Haihdutus jatkuu, kunnes päästään liukoisuuskäyrällä (liite 1) metastabiilille alueelle, joka on pienen ylikyllästyksen (noin 1,05–1,10) alue. Metastabiililla alueella voidaan käyttää täys-siemennystä. Täys-siemennyksessä keittoon syötetään siemensuspensio, jossa on jauhetta kidesokeria ja isopropanolia estämässä pienten kiteiden liukeneminen, toisiinsa tarttuminen ja pölyäminen. Keittoon lisättynä jauhetut kiteet toimivat uusien kiteiden rakennuspohjana. Keittoon lisättävän siemensuspension määrä määrittelee kiteiden koon sillä perusteella, että mitä enemmän keitossa on kiteitä, sitä vähemmän niillä on tilaa kasvaa, joten kiteiden koko on pienempi. (4;6;8, s. 181)

Siemensuspension lisäyksen jälkeen alkaa keiton herkin vaihe eli kidealkioiden kasvatusta, jolloin keittoon syötetään kokoajan lisää liuosta ja kiteet kasvavat. Tällöin on hyvin tärkeää, että keitto pysyy tasaisesti oikealla ylikyllästysalueella. Jos ei pysytä ylikyllästysalueella, voi kiteiden joukossa syntyä niin sanottuja konglomeraatteja eli useamman kuin kolmen kiteen yhteenliittymiä, joista muodostuu ongelmia prosessin seuraavissa vaiheissa. (4)

Kun keittoastia on täynnä ja kun mikroskooppikamerasta nähdään, että kiteet ovat valmiita, voidaan keitto laskea sen alapuolella olevaan säiliöön, jota kutsutaan maissiksi. Tämä on massan väliaikainen säilytyspaikka ennen kuin se siirtyy linkoihin. Yhdestä keitosta saadaan noin 20 tonnia kiteitä. (4;6)



Kuvio 3. Keittoastia, jossa tapahtuu kiteytys (2).

2.4 Linkous

Keittoastioista lähtevässä massassa sokerikiteet ovat valmiita, mutta niitä ympäröi vielä emäliuos, joka on kiteytymätöntä mehua. Tämä emäliuos poistetaan kiteiden ympäriltä ja välistä panostoimisilla lingoilla (kuvio 4). Panostoimisten linkojen toiminta perustuu keskipakovoimaan (kaava 3), joka työntää lingossa olevaa kidettä ja emäliuosta kohti lingon reunoilla olevaa verkkoa. Verkko päästää emäliuoksen läpi, mutta estää kiteiden läpimenon. Lingon käyttö vaatii myös hyvin paljon energiaa, sillä suuren korin kiihdytys

ja jarrutus muutaman minuutin välein kuluttaa paljon energiaa, jopa 35–50 % koko puhdistuksen sähköenergiantarpeesta. Yksittäisen lingon energiankulutus voidaan laskea kaavasta 4. (4;5, s. 850;9, s. 1)



Kuvio 4. Panostoimiset lingot Lb 15 ja Lb 4. Molemmilla lingotaan 1-keittomehusta valmistettua kidettä samanaikaisesti (2).

$$F = m \cdot a = m \cdot 2\pi^2 \cdot n^2 \cdot d \quad [N] \quad (3)$$

F on keskipakovoima (N)

m on lingon pyörivien massojen määrä (kg)

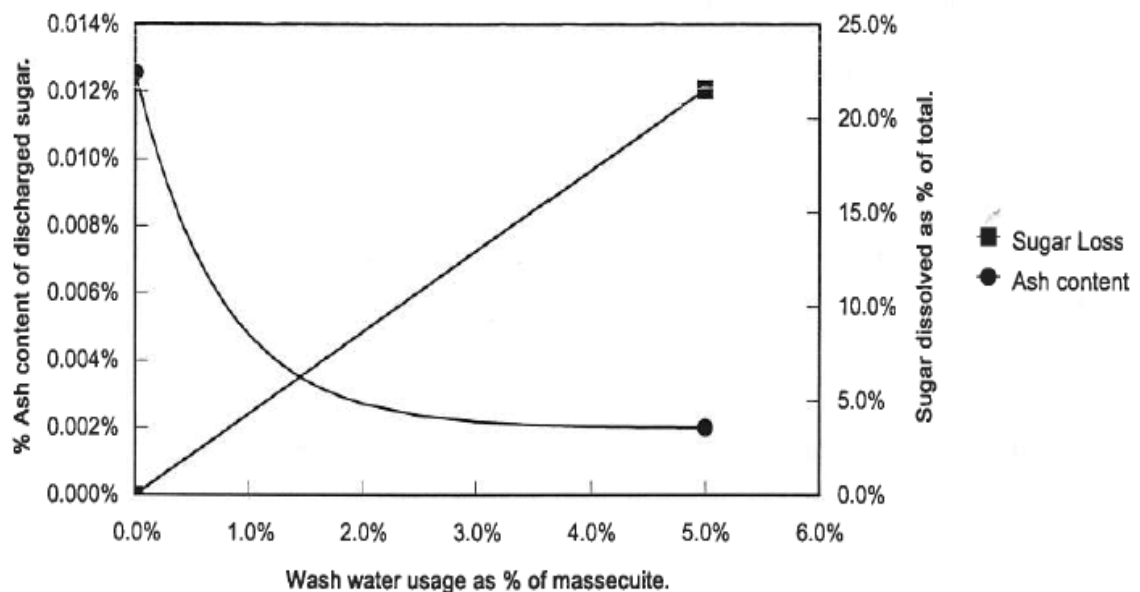
n on linkokorin kierrosluku (r/s)

d on lingon keskimääräinen halkaisija (mm).

$$W = \frac{g^2}{2} \cdot \pi^2 \cdot m \cdot d^2 \cdot n^2 \quad [J] \quad (4)$$

g on painovoiman aiheuttama kiihtyvyys (9,81 m/s²).

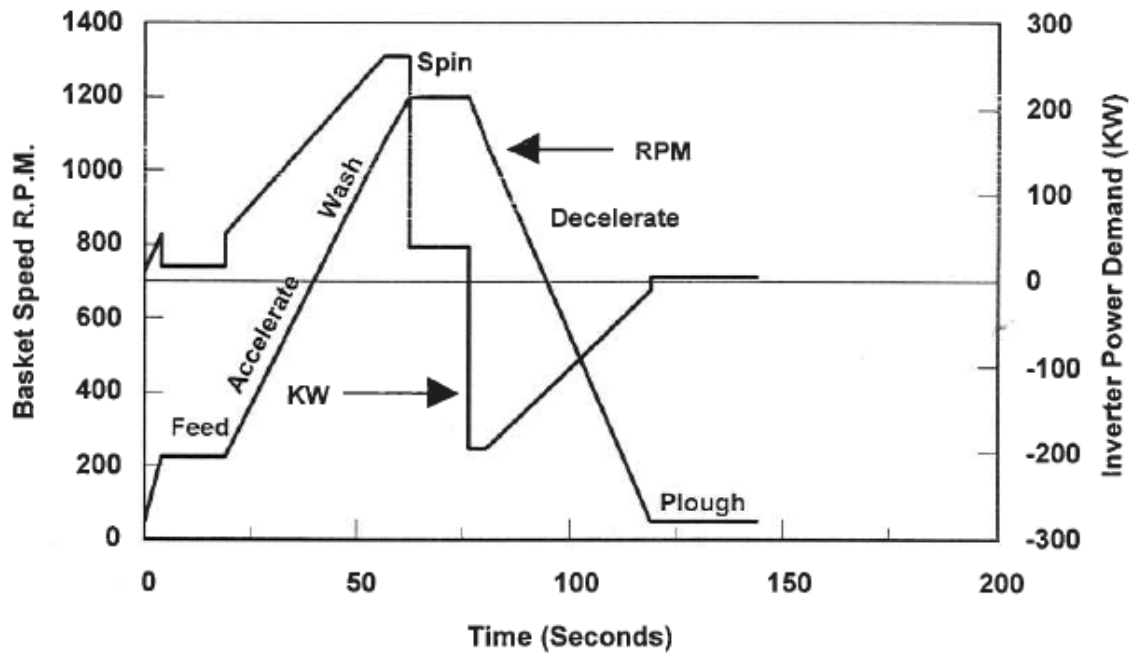
Panostoimisen lingon toimintakierto alkaa, kun siihen lasketaan maissista noin 450 litraa linkousmassaa, joka syötetään linkoon syöttöaukosta ja levitetään tasaisesti linkoon hajotuslautasen avulla lingon pyöriessä noin 200 rpm. Tasainen täyttö koko lingon koriin on tärkeää, sillä se tuottaa sokerissa mahdollisimman vähän laatuvariaatiota kuten taulukossa 1 on kerrottu. Täytön jälkeen linkoa kiihdytetään kohti sen maksimipyörimisnopeutta, joka Porkkalan lingoissa on 1300 rpm. Kiihdytettäessä linkoa emäliuos kiteiden välistä liukuu pois lingon korin ympärillä olevan verkon aukoista, joista kiteet eivät pääse läpi. Kierrosten noustessa kiteisiin syötetään katevesi, jolla poistetaan kiteiden pinnalla konsentroituneena oleva tuhka ja väri. Pyörimisnopeutta, jolla linko pyörii katevettä syötettäessä, kutsutaan kattamiskierroksiksi. Kateveden optimisyöttöhetki on silloin, kun emäliuos on poistunut kiteiden välistä eikä ilma ole päässyt vielä kuivattamaan kiteitä. Kateveden määrälle on myös optimi, sillä ylimääräinen katevesi ei poista tuhkaa vaan liuottaa sokeria (kuvio 5). (4)



Kuvio 5. Katevedenmäärän vaikutus tuhkaan ja kiteiden liukenemiseen (9, s. 21).

Lopuksi linko pyörii maksimikierrosnopeudella kuivattaen kidettä. Jarrutus pyritään tekemään mahdollisimman nopeasti, sillä se ei enää vaikuta kiteen laatuun. Porkkalanlinkojen jarrutusnopeus on 20 rpm/s. Jarrutuksen alkuvaiheessa lingon moottori muuttuu generaattoriksi tuottaen energiaa, ja näin saadaan palautettua osa kiihdytykseen

käytetystä energiasta. Lopulta korin reunoilla oleva sokeri kaavataan pois, ja se kulkeutuu avautuvan pohjan kautta kuivaimelle. Lopuksi linko pestään, ja se on valmis vastaanottamaan uuden linkousmassan. Koko toiminta on kuvattu kuviossa 6. (4;9, s. 8–11, 19–23;5, s. 846–848)



Kuvio 6. Panostamisen lingon toimintaprosessin eri vaiheet kuvattuina kierrosnopeuden ja energiankulutuksen mukaan. Energiankulutus menee miinusmerkkiseksi, kun jarrutuksessa otetaan energiaa talteen (9, s. 17).

Taulukko 1. Lingossa värinpoistoon vaikuttavat asiat. (9, s. 6–7;11)

Ongelma	Aiheutuu	Mihin johtaa
Konglomeraatit.	Keitto ei ole onnistunut.	Katevesi ei pääse huuhtelemaan emäliuosta kiteiden välistä ja väri pysyy korkealla.
Kidekoon vaihtelu	Keitto ei ole onnistunut hyvin.	Suurella kidekoon vaihtelulla emäliuos ei pääse erottumaan tasaisesti kiteiden välistä.
Lingon täyttö	Lingon indikaattori on väärässä kohdassa tai lingon syöttöaukko on tukossa.	Linko täyttyy epätasaisesti, joten katevesi ei pääse vaikuttamaan tasaisesti. Aiheuttaa myös lingon kavitointia ja sokerikerroksen epätasaista kuivumista.
Kateveden syöttö	Kateveden linjapaine heittelee.	Kateveden määrässä on vaihtelua, joka vaikuttaa kiteiden väriin.

Lingosta poistuvaa emäliuosta ja katevettä kutsutaan ryönäksi, mikä ohjataan lingoista ryönäsäiliöihin. 1-keiton ryönästä keitetään myöhemmin 2-keitto, joka on paljon tummempaa ja tämän keiton ryönästä keitetään taas 3-keitto. Lopulta 4-keiton jälkeen ryönä on niin tummaa ja tuhkapitoista, että se ohjataan jälkipuolelle, jossa siitä poistetaan mahdollisimman suuri osa sakkaroosista (liite 2). (6;10)

2.5 Kuivaus ja varastointi

Lingoista kide tippuu rumpukuivaimiin, joissa virtaavan lämpimän ja viileän ilman vaikutuksesta rummussa pyörivä ja sekoittuva kide kuivuu. Kiteen kuivuminen on hyvin kriittinen vaihe, sillä vähäinen kosteus (alle 0,03 %) estää kiteiden paakkuuntumisen varastossa ja mikrobien lisääntymisen. Kiteen matka rummussa kestää noin 10–20 minuuttia, jonka jälkeen se kulkeutuu hihnoja ja elevaattoria pitkin jaettavaksi varastosii-loihin. Varastosii-loja on kolme, joihin voidaan sekoittaa eri keitoista tulevia kiteitä tarpeen mukaan. Talouskiteen yläraja on 40 IU, jota pystytään säätelemään eri keittojen määrällä, mutta koska tietyistä määrästä 1 keittoja tulee tietty määrä 2 keittoja ja niin edespäin, pysyy väri melko tasaisena. Varastosii-loissa eli suursii-loissa tapahtuu vielä sokerin ilmastus, jossa sii-lojen alaosaan syötetään vakioitua ilmaa sokeripatjan läpi, ja tämä estää sokerin paakkuuntumisen jatkossa. Suursii-loista sokeri voidaan sekoitella pienempiin sii-loihin, joista se kulkeutuu pakkaamoon tai suoraan sitä noutaviin säiliöau-toihin. (4;6)

3 Laboratorioanalysointi

3.1 Värimittaus

Kaikki tässä insinöörityössä mitatut väriarvot mitattiin samalla Schmidt + Haensch Colormat 100 -värimittarilla käyttämällä ICUMSAn (International commission for uniform methods of sugar analysis) hyväksymää nestemäisen sokeriliuoksen värin mittaussuomenetelmää GS2/3-9. (12;13)

Värimittaukset tehtiin käyttämällä 10 cm:n kyvettiä, johon valmistettiin 50 Rk sokeriliuos tutkittavasta kiteestä, liuottamalla 30 g kiteistä 30 ml:aan ionivaihdettua vettä, mikä suodatettiin 0,45 µm membraanin läpi. Kaikki mittaukset tehtiin 420 nm:n aallonpituudella, ja laite ilmoitti tuloksen suoraan pyöristettynä ICUMSAn IU -yksikössä nollan desimaalin tarkkuudella tai tarkemmin absorbanssina kolmen desimaalin tarkkuudella. Kaikki insinöörityössä nähdyt tulokset on laskettu Colormatin ilmoittamasta absorbanssista, joka on muutettu IU-yksiköiksi kaavan 5 avulla. (13)

$$\text{Väri} = \frac{1000 \cdot A_s}{b \cdot RDS \cdot \rho} \quad [\text{IU}] \quad (5)$$

A_s on laitteen ilmoittama absorbanssi

b on näytekyvetin pituus (cm)

RDS (Refractometric dry substance) on sakkaroosin kuiva-ainepitoisuus

ρ on tiheys, jossa käytetään 50 % puhtaan sakkaroosiliuoksen tiheyttä 1229,7 kg/m³ (13).

3.2 Tuhkan ja saannon mittaus

Puhdas sakkaroosi ei johda sähköä, eli kaikki sähkönjohtavuus kiteissä johtuu epäpuhtauksista eli tuhkasta. Kaikki tuhkat mitataan ICUMSA-metodilla GS1/3/4/7/8-13, jossa liuotetaan 5 grammaa kuiva-ainetta 100 ml:aan ionivaihdettua vettä. Saatu liuos mitataan johtokykymittarilla, joka antaa tulokseksi $\mu\text{S}/\text{cm}$, joka muutetaan vielä oikeaksi johtokyvyksi kaavalla 6 (14).

$$\text{Johtokyky} = (16,2 + 0,36 \cdot \frac{5g}{100ml}) \cdot 10^{-4} \cdot C \quad (6)$$

C on mittarin antama johtokyky ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Ryöniä ja täten linkouksen taloudellisuutta voidaan vertailla laskemalla niistä saanto-prosentti ja vertailemalla sitä. Saanto voidaan laskea johtokyvystä, sillä mitä vähemmän liuokseen on liuenneena sokeria, niin sen suurempi on tuhkan konsentraatio ja sen suurempi on johtokyky. Saanto saadaan laskettua kaavasta 7 (14).

$$\text{Saanto\%} = \frac{C_{\text{Ryöniä}} - C_{\text{Keittomehu}}}{C_{\text{Ryöniä}}} \cdot 100\% \quad (7)$$

3.3 Invertin määrittäminen

Inverttipitoisuus määritettiin näytteistä käyttämällä Lane-Eynon titrausmenetelmää. Kyseisessä menetelmässä kiehuva, vakiopitoista reagenssiseosta titrataan laimennetulla näyteliuoksella, jonka kulumasta voidaan laskea näytteen inverttipitoisuus käyttämällä kaavaa 8. Näyteliuos valmistetaan punnitsemalla 10,4 g kuiva-ainetta/100 ml ionivaihdettua vettä. Saatu näyteliuos titrataan kiehuvan reagenssiseoksen joukkoon, mikä on 5 ml 6,92 M kuparisulfaattiliuosta, 5 ml alkalista kalium–natrium–tartraattiliuosta, kiehumakiviä ja indikaattorina 1-prosenttista metyleenin-sinistä. (15)

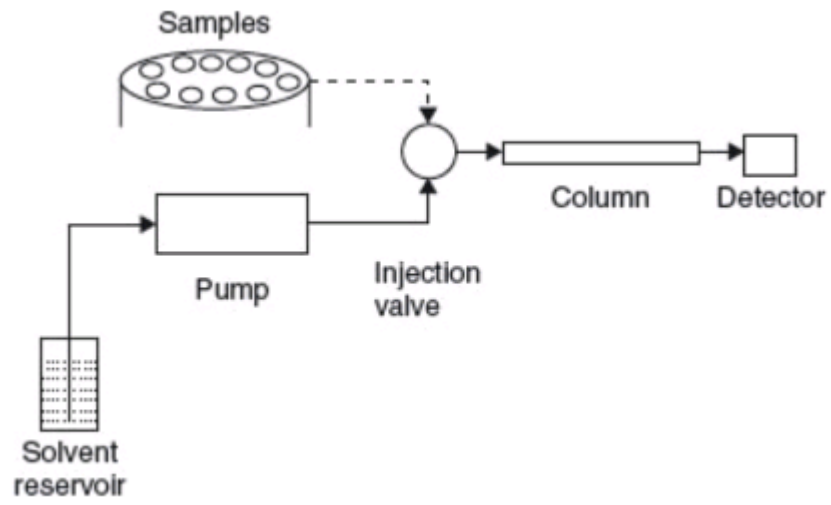
$$\text{Invertti} = \frac{K}{KA \cdot ml} \quad (8)$$

K on titrauskulutuksen mukainen lukema Lane-Eynon inverttisokerikerroin-taulukosta
 KA on punnittu kuiva-aine (10,4 g)
 m on näyteliuoksen kulutus titrauksessa.

3.4 Sokerikoostumuksen määrittäminen nestekromatografilla

Ryönästä voidaan määrittää sen sisältämät sokerit sekä epäsokerit ajamalla näyte HPLC:llä (High Pressure Liquid Chromatography) eli korkeapainenestekromatografia-laitteistolla. Suomen Sokeri Oy:n laatulaboratoriossa käytettävä nestekromatografia on Agilent Technologis 1200-sarjaa. Laitteistolla voidaan erotella erilaisia yhdisteitä nesteistä käyttämällä tiettyä ajoliuosta ja kolonnia. Ajoliuoksena Suomen Sokerilla toimii 0,003 M Na₂SO₄-liuos, jonka tarkoituksena on kuljettaa näyteliuos kolonnin läpi korkeassa nestepaineessa. Laitteessa käytetään natrium-kolonnia, joka on tarkoitettu hiilihydraattien erotukseen. Erikokoiset ja -muotoiset hiilihydraatit kulkevat eri nopeudella kolonnin läpi reagoidessaan Na⁺-kationien kanssa. Jokainen hiilihydraatti saapuu eriaikaan detektorille, jossa ne voidaan havaita. Laitteiston detektorina toimii refractive index detector, joka mittaa taitekerrointa nRIU-yksikössä. Detektorissa havaittuja tuloksia verrataan ensiksi ajettuun standardinäytteeseen. Laitteisto on täysin automaattinen, ja ainoaksi tehtäväksi jää näytteen esivalmistelu. Kuviossa 7 on laitteisto kuvattu kaaviokuvana. (16, s. 8)

Tutkittavaa näytettä punnitaan 270–300 mg, mikä laimennetaan 100 ml mittapullossa ionivaihdetulla vedellä. Näyte termostoidaan 20 °C:seen ja suodatetaan 0,2 µm membraanin läpi HPLC:ssä käytettävään näytepulloon. Ennen näytettä HPLC analysoi standardinäytteen, joka sisältää raffinoosia, sakkaroosia, glukoosia, fruktoosia ja betaiinia. Seuraavaksi HPLC analysoi vastaavan standardinäytteen, ja kyseinen testiajo saa erota maksimissaan +/- 1,5 % standardinäytteestä. Testiajolla varmistetaan, että laite toimii luotettavasti. Lopulta HPLC analysoi näytteen, jota verrataan standardin sisältämiin sokereihin. Tulokset saadaan luonnonpainona, jotka voidaan muuntaa kuiva-aineeksi kertomalla ne näytteen R_k:lla.

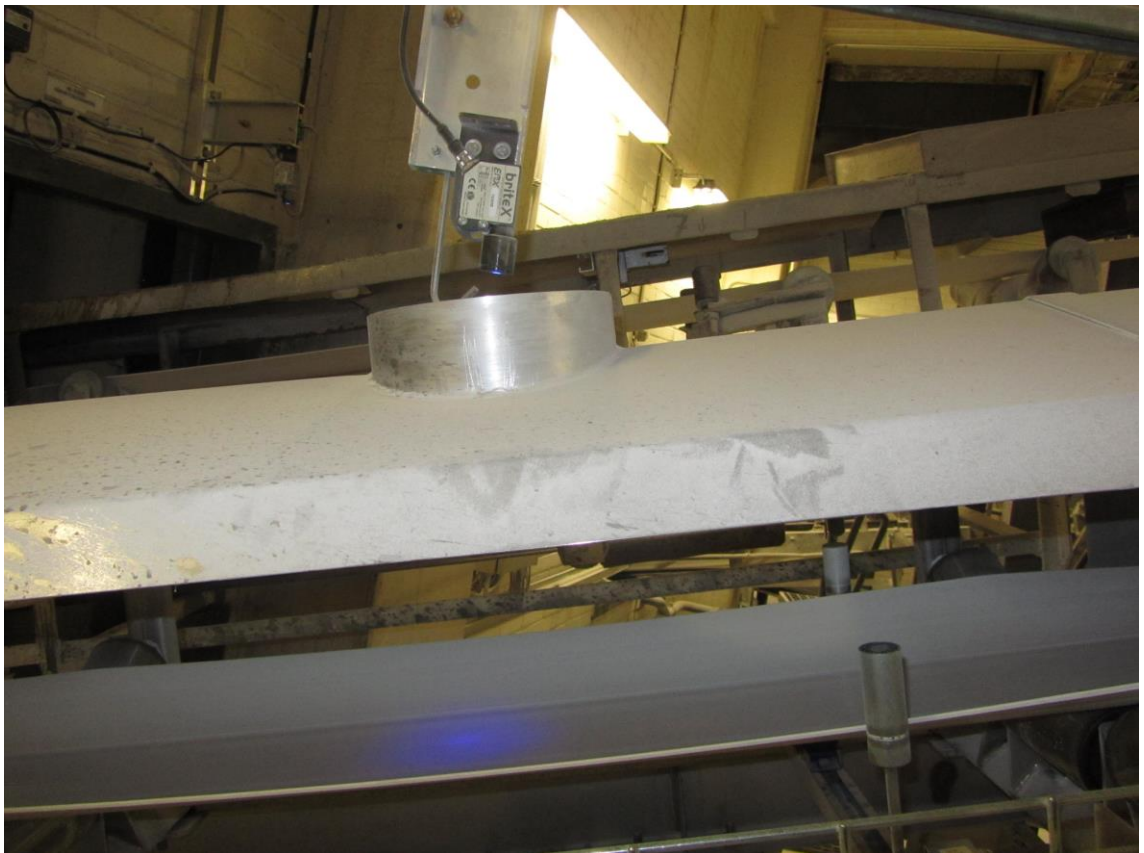


Kuvio 7. Kaaviokuva nestekromatografien toiminnasta (17, figure 2.1).

4 Mittarit

4.1 Värimittari

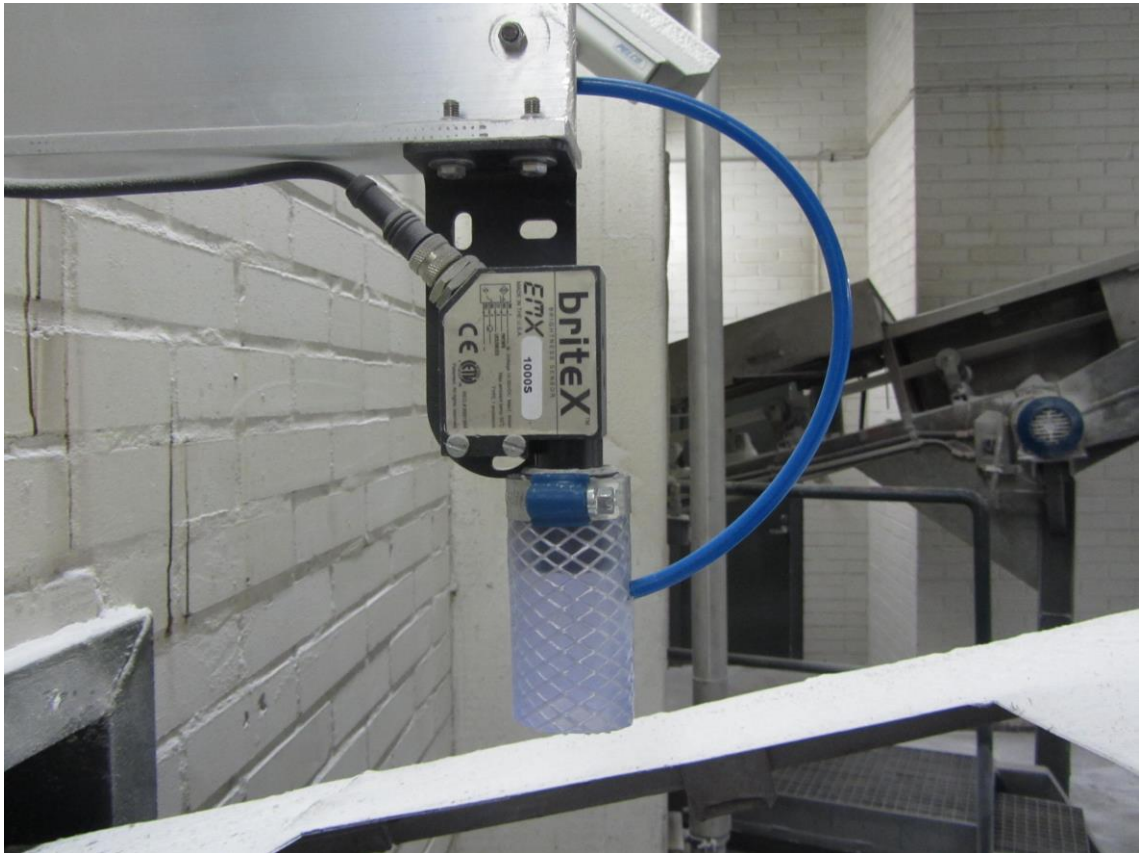
Värimittarit on asennettu tehtaalla kuivaimien jälkeisille kuljetushihnoille (kuvio 8), joita on neljä. Niiden tarkoituksena on mitata hihnalla kulkevaa sokerin väriä, ja tällä tiedolla voitaisiin päivittää lingon kateveden syötön määrää. Värin ollessa yli halutun värin automaatio lisäisi katevettä puoli litraa kerrallaan, ja värin ollessa ali halutun rajan, automaatio vähentäisi katevettä. Näin säästettäisiin rahaa turhassa sokerin liukenemisessä sekä pidettäisiin laatu tasaisena. Tarvetta tällaiselle automaatiolle on, sillä kiteen värin vaihtelu on hyvin suurta johtuen raakasokerin laadun vaihtelusta sekä käytetystä puhdistusprosessista. Yleensä väri on reilusti alle värien ylärajan, mutta korkeavärisen raakasokerin kohdalla saattaa väri pysyä hyvin korkealla puhdistusprosessista huolimatta.



Kuvio 8. Brite-X-värimittari asennettuna sokerin kuljetushihnan ylle.

Värimittarina tässä insinööriyössä käytetään Brite·X 1000S -värimittareita, jotka on tarkoitettu sokerin värin mittaamiseen. Värimittarit tilattiin vuoden 2011 lopussa, mutta niitä ei ollut ehditty kalibroimaan kunnolla, sillä se vaatii paljon aikaa. Mittarin toiminta perustuu sen lähettämään valoon, joka heijastuu takaisin mitattavan aineen pinnasta. Värimittari ei mittaa suoraan kohteen väriä, vaan se mittaa kohteen kirkkautta yksiköllä 0–99. Mitä korkeampi arvo on, niin sen vaaleampi kohde on. Tehtäväksi muodostui oikean kalibroitisuuden muodostaminen, jolla mittarin antama yksikkö saataisiin muutettua IU-yksiköiksi DNA-näytölle (liite 3). DNA:lle oli syötetty kolmannen asteen yhtälö, jolla muutetaan mittarin lähettämä lukema IU-yksiköksi, ja tätä yhtälöä käytettiin myös tässä insinööriyössä.

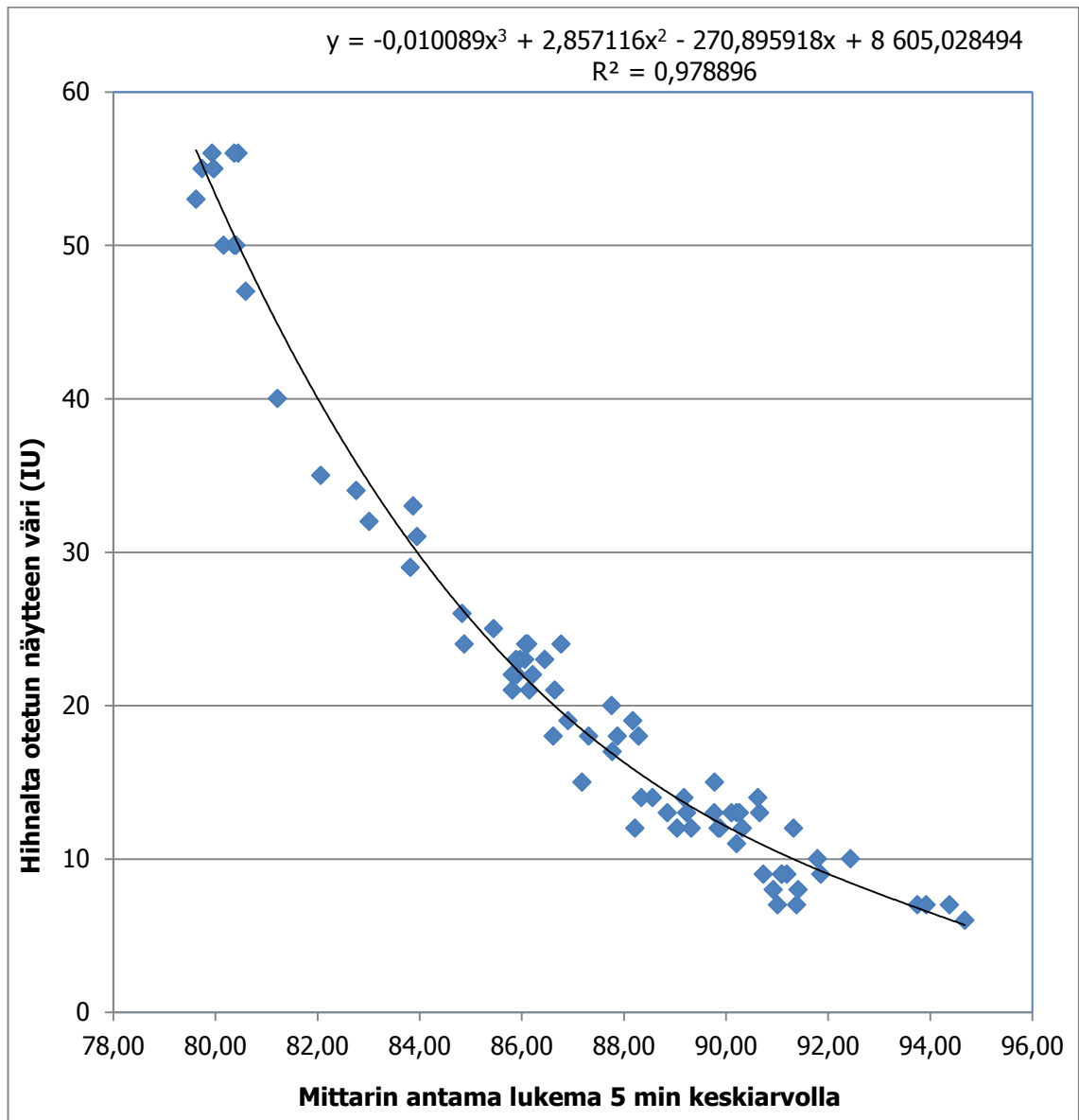
Ongelmaksi värimittarille oli muodostunut se, että koska sen toiminta perustuu valon heijastukseen, niin myös valon kulkema matka vaikuttaa siihen. Sokerikiteet eivät kulje tasaisen paksuna kerroksena varastohihnoilla vaan aaltomaisina kasoina, joten tämä aiheutti ongelmia, joiden takia värimittarin yhteyteen oli tilattu etäisyysmittari. Tehdyistä mittauksissa havaittiin myös, että sokerikiteen aiheuttama pöly tarttui helposti värimittarin lasin pintaan, joka aiheutti lukeman muutosta. Värimittarin ympärille asennettiin pölynpoistoputki, johon syötetään paineilmaa, ja tämä estää sokeripölyn nousemisen mittarin pinnalle (kuvio 9).



Kuvio 9. Pölynpoistojärjestelmä, joka estää sokeripölyä nousemasta mittarin lasipinnalle.

4.2 Värimittarin kalibrointi

Värimittari kalibroitiin ottamalla hihnoilta kidenäytteitä heti värimittarin ja etäisyysmittarin jälkeen 1 kg paperipusseihin. Jokainen näytteenottohetki otettiin ylös yhden minuutin tarkkuudella. Laboratoriossa näytteistä mitattiin väri ICUMSA-menetelmällä. Saatua väriä verrattiin mittarin lukemaan viiden minuutin keskiarvolla, mikä saatiin DNA My Community -ohjelmasta, jossa voidaan tarkastella eri säätöpiirien/anturien lähettämiä lukemia. Väriä vertailtiin aina vain sellaisissa tapauksissa, jossa värimittarin lukema oli pysynyt tasaisena eikä esimerkiksi keiton vaihdon aikana otettu näytteitä. Näytteenstä mitattu väri ja My Communitystä saatu arvo taulukoitiin ja siihen kerättiin värejä mahdollisimman suurelta alueelta. Kolmoslinjalla, jossa värimittari kalibroitiin, kulkee kiteitä keitoista 1–3, joten väri voi muuttua välillä 7–80 IU. Saadusta taulukosta piirrettiin kuvaaja Excelissä, jossa väri (IU) muuttuu värimittarin yksikön mukaan (kuvio 10).



Kuvio 10. Kalibrointisuora 3-linjan värimittarille.

Kuviosta 10 nähdään, ettei väri noussut kolmoskeitossa kertaakaan yli 60 IU:n. Tästä voidaan päätellä, että se voisi olla hyvä yläraja kolmoskeiton automatisoinnille. Kuvios-
ta huomataan, että vaihtelua on suoran ympärillä reilusti, mikä johtuu sokerikerroksen
paksuuden vaihtelusta. Etäisyysmittaria ei ole otettu tähän kaavaan mukaan, sillä tä-
män insinööritöyönpuitteissa sille ei jäänyt tarpeeksi aikaa, jotta se olisi saatu yhdistet-
tyä kalibrointisuoraan. Kalibrointisuoran kolmannen asteen yhtälö on kirjoitettu kaavas-
sa 9.

$$y = -0,010089 \cdot x^3 + 2,857116 \cdot x^2 - 270,895918 \cdot x + 8605,028494 \quad (9)$$

y on väriarvo yksikössä IU

x on mittarin antama lukema 0–99.

Liitteestä 4 nähdään, kuinka saatu yhtälö ennustaa väriä eri mittarin lukemilla.

4.3 Etäisyysmittari

Etäisyysmittari oli hankittu 3-linjan värimittarin yhteyteen, sillä oli huomattu, että varastohihnalla kulkevan kidekerroksen paksuuden vaihtelu sai mittarin ”luulemaan”, että väri muuttuu. Etäisyyden kasvaessa värimittarin ja kohteen välillä huomattiin selvästi, että värikin nousi esimerkiksi keittojen välissä, jolloin hihnalla kulkee vähän aikaa hyvin ohut sokerikerros.

Etäisyysmittari mittaa eroa kohteen ja mittarin välillä laserilla, ja tämä ero muutetaan DNA:lle sokerikerroksen paksuudeksi. Tämä sokerikerroksen paksuus voidaan liittää värimittarien kaavaan, jolloin saadaan etäisyydestä riippuva kolmannes asteen yhtälö.

5 Koesuunnittelu

5.1 Koesuunnitelma

Koesuunnittelun tavoitteena oli löytää lingoille optimiarvot, joilla kiteiden väri pysyy hyväksytyissä rajoissa ja saanto paranee. Koesuunnittelussa saatuja tietoja voitaisiin hyödyntää myös etsittäessä parhaimpia kateveden muutosrajoja automaatiolle.

Koesuunnittelu tehtiin kolmoslinjalla kolmoskeitolle. Kolmoskeitto valittiin koesuunnitteluun sen tumman värin takia ja siksi, että sille ei ollut tehty ennestään minkäänlaista optimointia. Kolmoskeiton väriarvon ylätasoa on 80 IU, ja matalimmillaan kiteen väri on ollut vajaassa 30 IU:ssa, joten vaihtelua on paljon. Kolmoslinja oli myös ainoa, jossa oli valmiiksi etäisyysmittari värimittarin yhteydessä. Kolmoskeitto keitetään kakkoskeiton ryönistä, ja sen ryönät menevät edelleen neloskeitolle.

Kokeisiin valittiin kolme muuttujaa:

- linkoon syötettävä katevesi (l)
- lingon kierrosluku, jolloin katevesi syötetään (rpm)
- linkousaika (s).

Kaikki muuttujat ovat kvantitaavisia muuttujia. Ennestään tehtaalla tehdyistä mittauksista tiedettiin, ettei linkousaika välttämättä vaikuta kiteiden väriin vaan ainoastaan kosteuteen, mutta se otettiin silti mukaan, sillä ennen sitä on kokeiltu vain pienellä vaihtelulla (18, s. 26).

Koesuunnittelu toteutettiin käyttämällä tilastollista koesuunnittelua (DOE, Design of experiments), sillä kokeet voitiin suorittaa teollisessa mittakaavassa ilman suurempaa haittaa yritykselle tai tuotteen laadulle (19, s. 14–15). Jotkin koepisteet täytyi tehdä arvoilla, jotka tuottavat laadullisesti epäkuranttia sokeria, mutta nämä koelingolliset ovat hyvin pieni osa siiloissa olevasta massasta eivätkä vaikuta lopullisen tuotteen laatuun. Edellä mainittujen seikkojen takia muuttujille valittiin mahdollisimman suuret

vaihtelut (taulukko 2). Keskipisteiksi muuttujille valittiin nykyiset ajoarvot, poikkeuksena kattamiskierrokset, joita nostettiin vanhaan arvoon nähden 30 rpm. Kattamiskierrosta nostettiin, koska oletettiin, että värintaso paranee sen ollessa korkeampi.

Taulukko 2. Muuttujat sekä niiden fysikaaliset ja koodatut arvot.

Muuttuja	Alaraja (fys.)	Keskipiste (fys.)	Yläraja (fys.)	Alaraja (kood.)	Keskipiste (kood.)	Yläraja (kood.)
Katevesi A (l)	7	9	11	-1	0	1
Kattamiskierrokset B (rpm)	550	650	750	-1	0	1
Aika C (s)	50	60	70	-1	0	1

Muuttujille valittiin ylä- ja alarajat fysikaalisissa arvoissa, jotka muutettiin koodatuiksi arvoiksi (kaava 10) helpottamaan tulosten analysointia (taulukko 3) (20).

$$X_i = 2 \cdot \frac{x_i - \bar{x}_i}{\Delta x_i} \quad (10)$$

X_i on koodattu arvo

x_i on fysikaalinen arvo

\bar{x}_i on keskiarvo

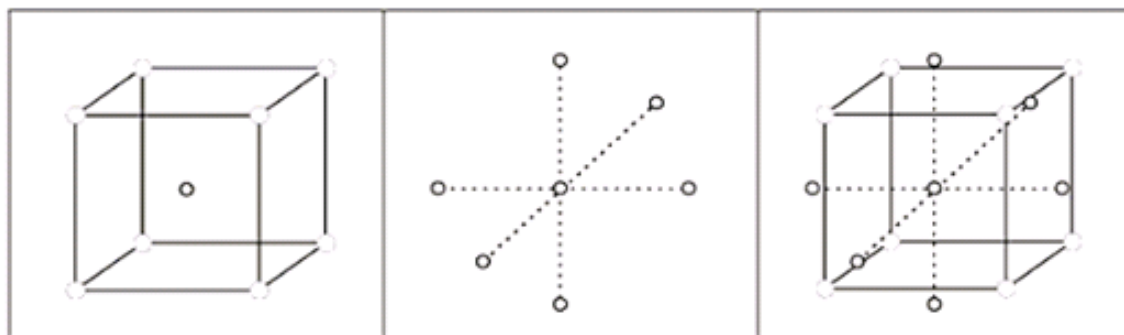
Δx_i on vaihteluväli.

Taulukko 3. Muuttujien vaihteluvälit ja keskiarvot.

Tekijä	Keskiarvo (\bar{x}_i)	Vaihteluväli (Δx_i)
A	9	4
B	650	200
C	60	20

Koesuunnitelmaksi valittiin CC (Central Composite) -koesuunnitelma (taulukko 4). CC-koesuunnitelmassa on kahdeksan faktoriaalista koepistettä, joissa jokainen muuttuja saa arvot nolasta ykköseen. Faktoriaalisten koepisteiden lisäksi CC-koesuunnitelmassa

on keskipisteessä tehtyjä toistomittauksia, joista on hyvä tutkia koevirhettä, sekä aksiaalikoiteita, joissa yksi muuttuja on vuorollaan ääripisteessä muiden ollessa keskipisteessä (kuvio 11). (21, s. 150)



Kuvio 11. CC-koesuunnitelman faktoriaaliset pisteet, keskipiste ja aksiaalipisteet kuvattuna kuvitteellisena laatikkona (21, s. 151).

Taulukko 4. CC-koesuunnitelma kolmoskeitolle, mukana sekä koodatut ja fysikaaliset arvot.

Nro	Kokeentyyppi	A	B	C	A	B	C
1	Faktoriaalinen	-1	-1	-1	7	550	50
2	Faktoriaalinen	-1	-1	1	7	550	70
3	Faktoriaalinen	-1	1	-1	7	750	50
4	Faktoriaalinen	-1	1	1	7	750	70
5	Faktoriaalinen	1	-1	-1	11	550	50
6	Faktoriaalinen	1	-1	1	11	550	70
7	Faktoriaalinen	1	1	-1	11	750	50
8	Faktoriaalinen	1	1	1	11	750	70
9	Keskipiste	0	0	0	9	650	60
10	Keskipiste	0	0	0	9	650	60
11	Keskipiste	0	0	0	9	650	60
12	Keskipiste	0	0	0	9	650	60
13	Aksiaali	2	0	0	13	650	60
14	Aksiaali	-2	0	0	5	650	60
15	Aksiaali	0	2	0	9	850	60
16	Aksiaali	0	-2	0	9	450	60
17	Aksiaali	0	0	2	9	650	80
18	Aksiaali	0	0	-2	9	650	40

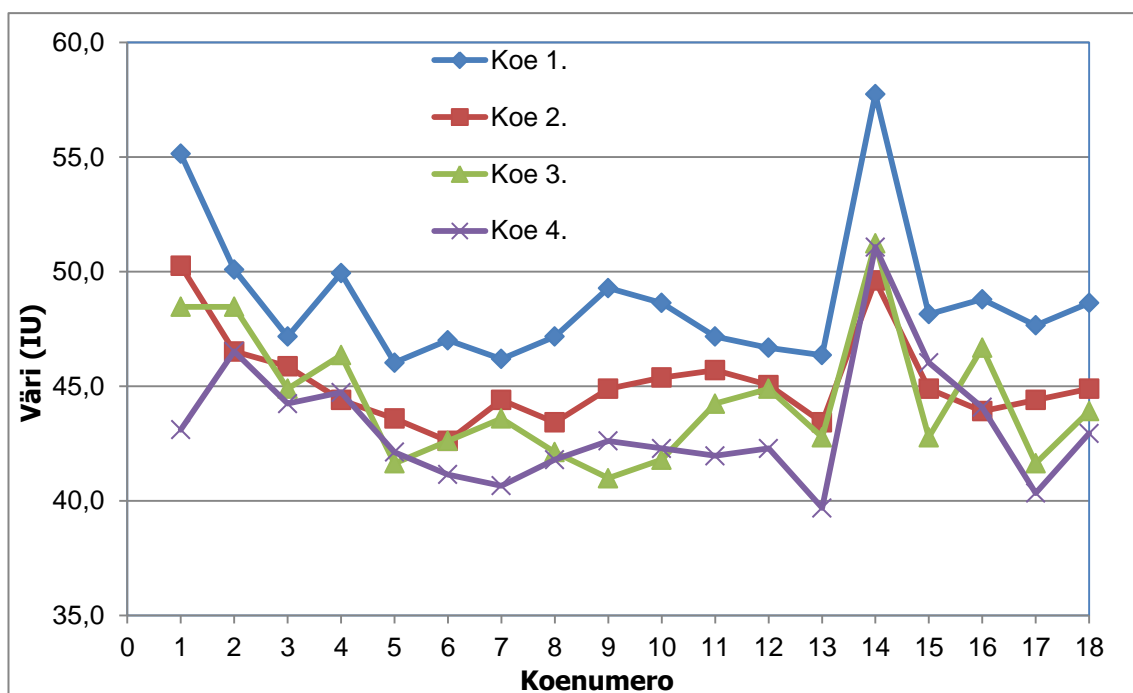
Jokainen koesuunnitelma suoritettiin aina saman kolmoskeiton aikana, ja koesuunnitelma ehdittiin toistaan neljä kertaa, eli kokeita tuli yhteensä 72. Kokeita pyrittiin tekemään mahdollisimman monta, sillä tiedettiin, että keittojen välillä on vaihtelua. Kaikkien koesuunnitelmien koejärjestys oli satunnaistettu, ja mittaukset otettiin aina samasta kohdasta suoraan lingosta, joista mitattiin väri. Kaikkien neljän koesuunnitelman tuloksista laskettiin tulosten keskiarvo. Kokeiden tulokset sekä niistä lasketut keskiarvot näkyvät taulukosta 5.

Taulukko 5. Kaikkien neljän koetoiston tulokset ja niistä lasketut keskiarvot, hajonnat ja neliölliset keskihajonnat.

Tekijät (Todelliset arvot)			vaste (väri)				Keskiarvo	Hajonta
A	B	C	1.	2.	3.	4.	1.	
7	550	50	55,1	50,3	48,5	43,1	49,2	4,97
7	550	70	50,1	46,5	48,5	46,5	47,9	1,73
7	750	50	47,2	45,9	44,9	44,2	45,5	1,27
7	750	70	49,9	44,4	46,4	44,7	46,4	2,53
11	550	50	46,0	43,6	41,6	42,1	43,3	1,97
11	550	70	47,0	42,6	42,6	41,1	43,3	2,54
11	750	50	46,2	44,4	43,6	40,7	43,7	2,31
11	750	70	47,2	43,4	42,1	41,8	43,6	2,46
9	650	60	49,3	44,9	41,0	42,6	44,4	3,60
9	650	60	48,6	45,4	41,8	42,3	44,5	3,16
9	650	60	47,2	45,7	44,2	42,0	44,8	2,22
9	650	60	46,7	45,1	44,9	42,3	44,7	1,82
13	650	60	46,4	43,4	42,8	39,7	43,1	2,74
5	650	60	57,7	49,6	51,2	51,1	52,4	3,63
9	850	60	48,1	44,9	42,8	46,0	45,5	2,24
9	450	60	48,8	43,9	46,7	44,1	45,9	2,33
9	650	80	47,7	44,4	41,6	40,3	43,5	3,24
9	650	40	48,6	44,9	43,9	42,9	45,1	2,49
Hajonta			1,22	0,36	1,88	0,27	1,14	2,75

Tehdyistä keskipistemittausten keskiarvoista laskettiin vielä koevirhe Excelillä ja tulokseksi tuli **0,157**. Kyseistä koevirhettä tarvitaan myöhemmässä tulosten tarkastelussa.

Tuloksia voidaan tarkastella myös piirtämällä jokaisen koetoiston tulokset samaan kuvaajaan, josta nähdään onko jokin mittauksista virheellinen tai muista reilusti poikkeava.



Kuvio 12. Kaikkien neljän koesuunnittelun mittaustulokset piirrettyinä samaan kuvaajaan.

Kuviosta 12 nähdään, että muuttujat vaikuttavat tuloksiin samalla tavalla ja suurin ero tulosten välillä johtuu keittojen tasoerosta. Pienet kuviossa nähtävät muuttujien erot johtuvat luultavasti siitä, että näytettä oli mahdotonta ottaa aina aivan samasta kohtaa linkoa. Myös linkojen erilaiset täytöt vaikuttavat väriin, kuten taulukossa 1 on mainittu. Kuvaajan perusteella ei kuitenkaan poistettu yhtään koepistettä eikä koetoistoa lopullisista tuloksista, sillä tuloksia oli liian vähän, jotta voitaisiin sanoa mikä on oikea ja mikä väärä.

5.2 Regressioanalyysi

Tehty CC-koesuunnitelma analysoitiin Excelin regressioanalyysimakrolla, joka kertoo, kuinka eri muuttujat vaikuttavat vasteeseen, joka on näissä kokeissa kiteen väri. Regressioanalyysimakrolla analysoidaan myös, mitä merkitystä muuttujien yhdysvaikutuksilla sekä neliöllisillä vaikutuksilla on vasteeseen (22, s. 34–35).

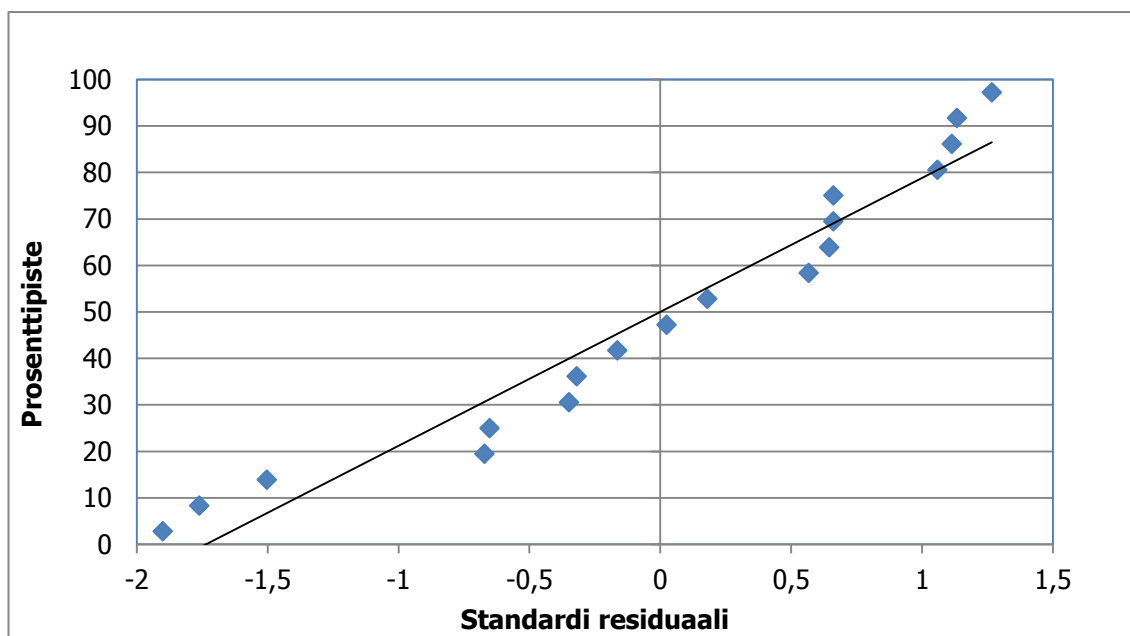
Excel edellyttää arvot taulukkomuodossa, ja regressio toteutetaan koodatuissa arvoissa. Koodatuissa arvoissa muuttujat pysyvät vertailukelpoisina ilman yksikköjä (liite 5). Excel tulostaa annetuista arvoista X ja vasteesta Y regressioanalyysin (liite 6). Tästä regressiotulostuksesta tarkastellaan vain muutamia kiinnostavia lukuja, jotka on merkitty vihreällä värillä.

Ensiksi tarkastellaan mallin selitysastetta, joka on 97,5 %. Kyseinen selitysaste on hyvä. Selitysaste 97,5 % kertoo, kuinka suuren osuuden värin eli vasteen vaihtelusta tämä malli pystyy selittämään. Ennen kuin ruvetaan analysoida muita tuloksia, on hyvä tarkastella mallin muuttujien kertoimia. Kertoimista tarkastellaan niiden tilastollista merkitsevyyttä eli P-arvoa. Yleinen merkitsevyyden P-arvo on alle 0,05. Kuten liitteestä huomataan, linkousajan ja kattamiskierroksen yhdysvaikutuksen P-arvo on huomattavasti rajan yli, joten se poistetaan regressiomallista. Muuttujien kertoimia poistetaan regressiomallista aina suurimman P-arvon mukaan, ja aina tehdään uusi regressiotulostus. Lopulta, kun kaikkien muuttujien P-arvot ovat alle 0,05 tai ne hyväksytään jostain muusta syystä, voidaan analysointia jatkaa. (22, s. 35–37)

Liitteessä 7 on päästy siihen pisteeseen, jossa kaikkien muuttujien kertoimet ovat tilastollisesti merkitseviä, paitsi kattamiskierros, joka pidetään mukana, sillä sen kerroin on kertaluokaltaan pieni verrattuna muihin ja se on hyvin lähellä rajaa 0,05. Tämän mallin selitysaste on 95,2 %, joka on hyvä. Residuaalien keskivirhe kuvaa mallin antamien arvojen eroa mitattuihin arvoihin, mikä on 0,62 %. Residuaalien keskivirhettä on hyvä verrata edellä laskettuun keksipisteiden koevirheeseen 0,157 %, ja näiden pitäisi olla lähes samoja. Koevirhe on monta kertaluokkaa pienempi, joten tämän mukaan malli on yhteensopimaton. Liitteessä 8 on tehty lack of fit -testi eli yhteensopimattomuustesti,

jossa tutkitaan, onko riippuvuus mutkikkaampaa kuin mitä malli pystyy kuvaamaan. (22, s. 35, 50–51)

Liitteessä 8 olevista laskuista nähdään, että F-arvo on reilusti yli yhden. Tästä voidaan päätellä, että malli on yhteensopimaton ja p-arvo kertoo, että se on tilastollisesti merkitsevä 0,05 merkitsevyystasolla (22, s. 51). Tässä tapauksessa voidaan kiertää yhteensopimattomuustestin tulkintaa. Luultavasti merkitsevä ero aiheutuu siitä, että tuloksia on hyvin hankala toistaa, kun jokaisessa koesuunnitelmassa on erilainen keitto. Kuten taulukon 5 neliöllisistä keskihajonnoistakin nähdään, aiheutuu suurin hajonta keittojen välille (2,75) eikä koetoistojen välille (1,14). (23, s. 30)



Kuvio 13. Normaalitodennäköisyyskuvaaja.

Mallin merkitsevyys F on 0,00011 eli muuttujat vaikuttavat vasteeseen y, ja kuviosta 13 nähdään, että yksikään residuaali ei poikkeakaan yli kolmea yksikköä ja ne ovat normaalisti jakautuneita. Standardisoidun residuaalikuvaajasta voidaan päätellä, että mittausten joukossa ei ole yhtään "outoa" mittausta, mikä aiheuttaisi toimenpiteitä. Näillä tuloksilla voidaan sanoa, että malli on hyväksyttävä, ja vasteelle Y voidaan kirjoittaa mallin mukainen yhtälö 11. (22, s. 36–37)

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 \quad (11)$$

b :t ovat mallien kertoimia, b_0 :n ollessa leikkauspiste

x :t ovat mallien arvoja, joille voidaan antaa jokin koodattu arvo.

Edellä saatu on kvadraattinen malli, sillä sen avulla voidaan laskea optimipiste (22, s. 57). Muuttujien kertoimet tiedetään, ja muuttujille voidaan antaa mitä tahansa arvoja, joiden mukaan malli ennustaa vastetta eli tässä tapauksessa väriä. Liitteessä 9 on Exceliin piirretty matriisitaulukko, jonka pohjalta on piirretty vastepintakuvaaja, jossa x - ja y -akselilla on muuttujille annettu arvot -4–4 ja nämä ovat koodattuja yksiköitä.

5.3 Haluttavuus

Haluttavuudesta puhuttaessa 1 on täydellinen, kun taas 0 on kelvoton. Näiden lukuarvojen välille voidaan sijoittaa minkä tahansa tutkittavan tuotteen laatu, jolle on subjektiivisesti sovittu halutut laaturajat tuotteen asiantuntijan kanssa. Sovituista arvoista voidaan kirjoittaa yhtälö, jonka avulla voidaan tutkia millä arvoilla päästään millekin haluttavuusasteelle. (24, s. 183–184)

Tehtaan laatuinsinöörin kanssa keskusteltiin, mikä olisi 3-keittomehun kiteelle paras haluttavuus kyseisillä koealueilla, ja päädyttiin, että se olisi 45 IU, ja huonoin haluttavuus olisi kiteellä, jonka väri on yli 55 IU (25). Väri 45 tai alle sai haluttavuusarvon 1 ja 55 tai yli sai arvon 0. Päätetyillä arvoilla luotiin haluttavuus funktio yhtälön 12 mukaan (18, s. 30).

$$D = \frac{1}{1 + e^{-\frac{y-a}{b}}} \quad (12)$$

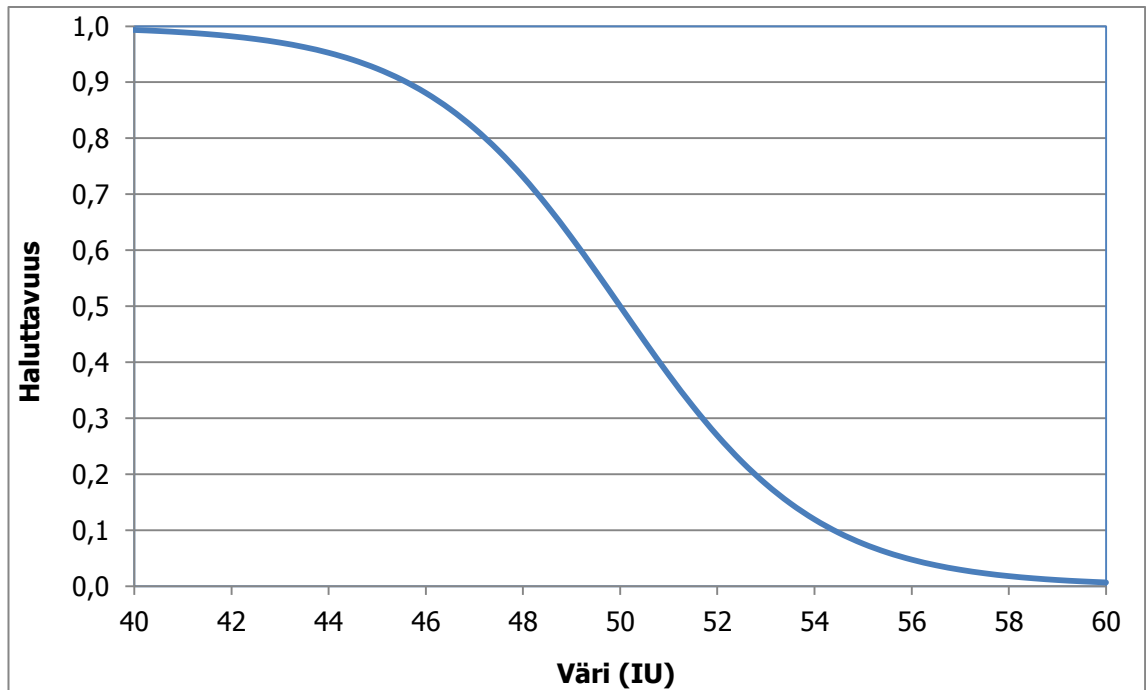
D on haluttavuus

y on vaste eli väri

a on sovittujen haluttavuusrajojen keskipiste

b on kokeilemalla saatu muuttuja, jonka mukaan piirretyn suoran jyrkkyys vaihtelee.

Saadun haluttavuusfunktion mukaan voitiin piirtää kuvaaja, joka kuvaa värin ja haluttavuuden vaikutusta, kuten kuviossa 14 on tehty.

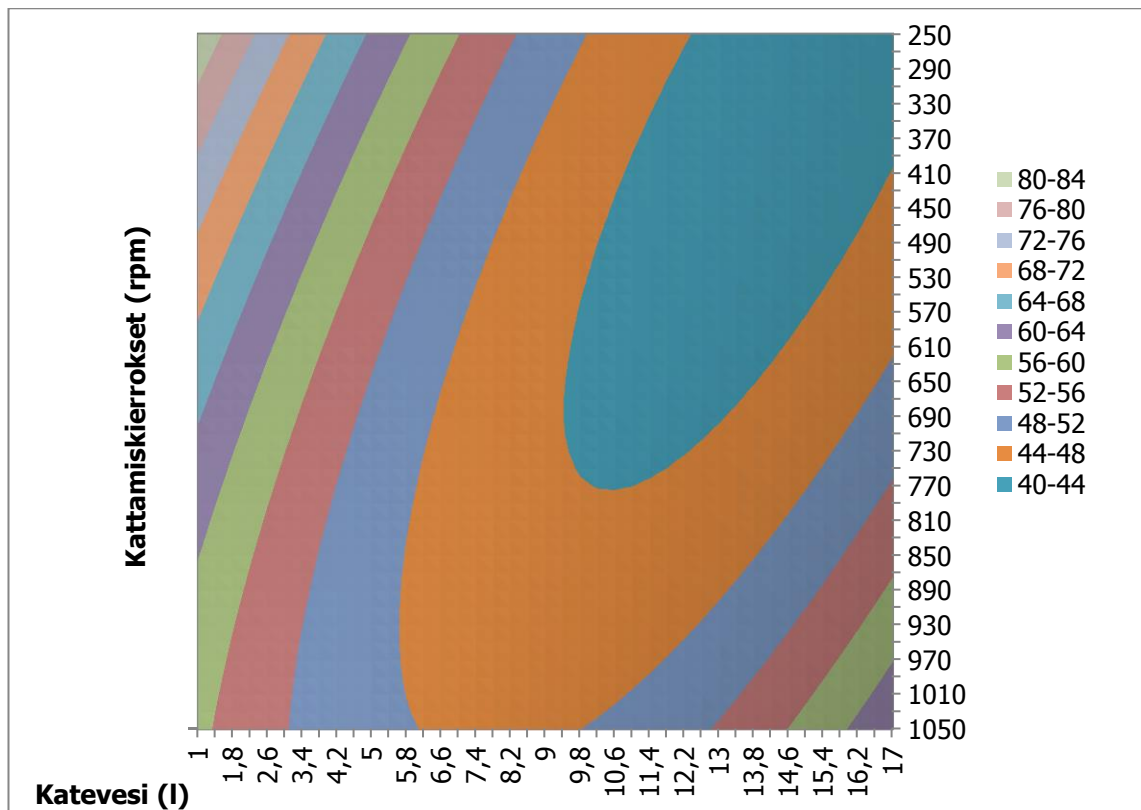


Kuvio 14. Haluttavuusfunktion kuvaaja.

Haluttavuusfunktiolla tehtiin myös oma matriisitaulukko, jossa kaavan 12 y:n paikalle sijoitettiin mallin laskema väri (liite 10).

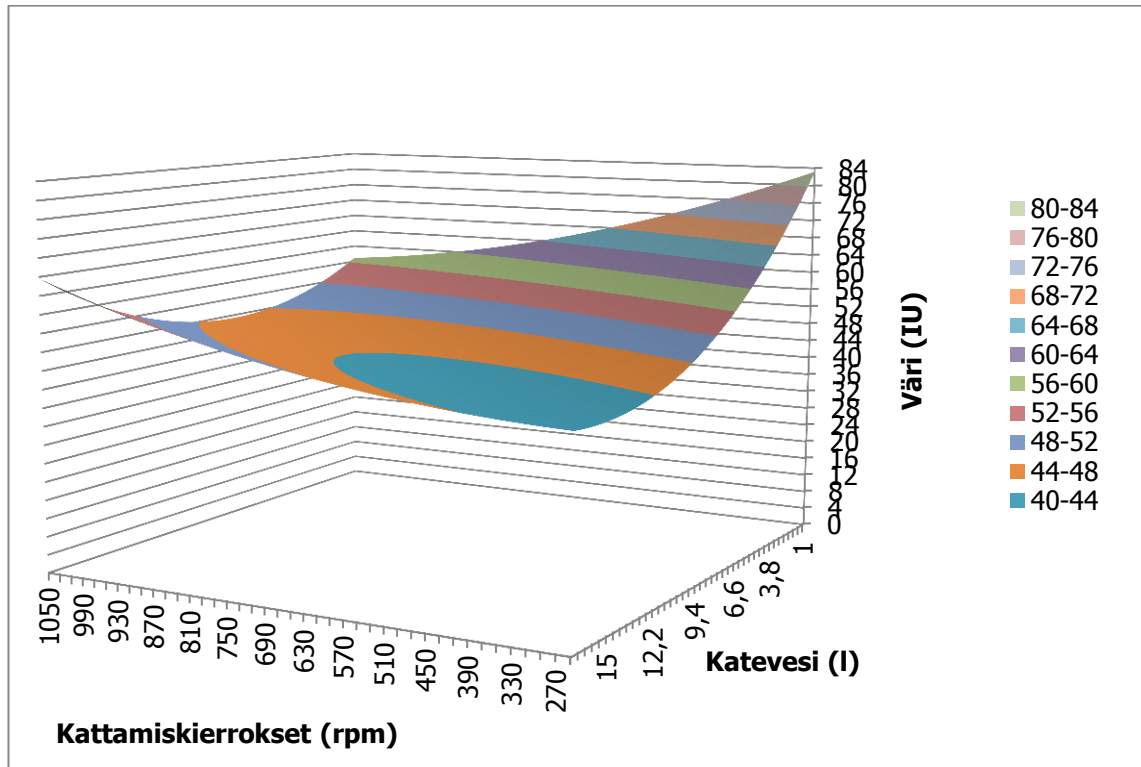
5.4 Vastepintakuvaajat

Vastepintakuvaajilla pyritään kuvaamaan lukijalle selvästi, miten väri käyttäytyy tehdyn mallin mukaan, sillä matriisitaulukosta sitä on hyvin vaikea lukea. Kuviossa 15 on piirretty regressioanalyysistä tehty malli Excelin Contour-kuvaajalla, joka on vastepintakuvaaja kuvattuna ylhäältä päin. Tulkitsemista helpottamaan akselit on merkitty fysikaalisten arvojen mukaan.



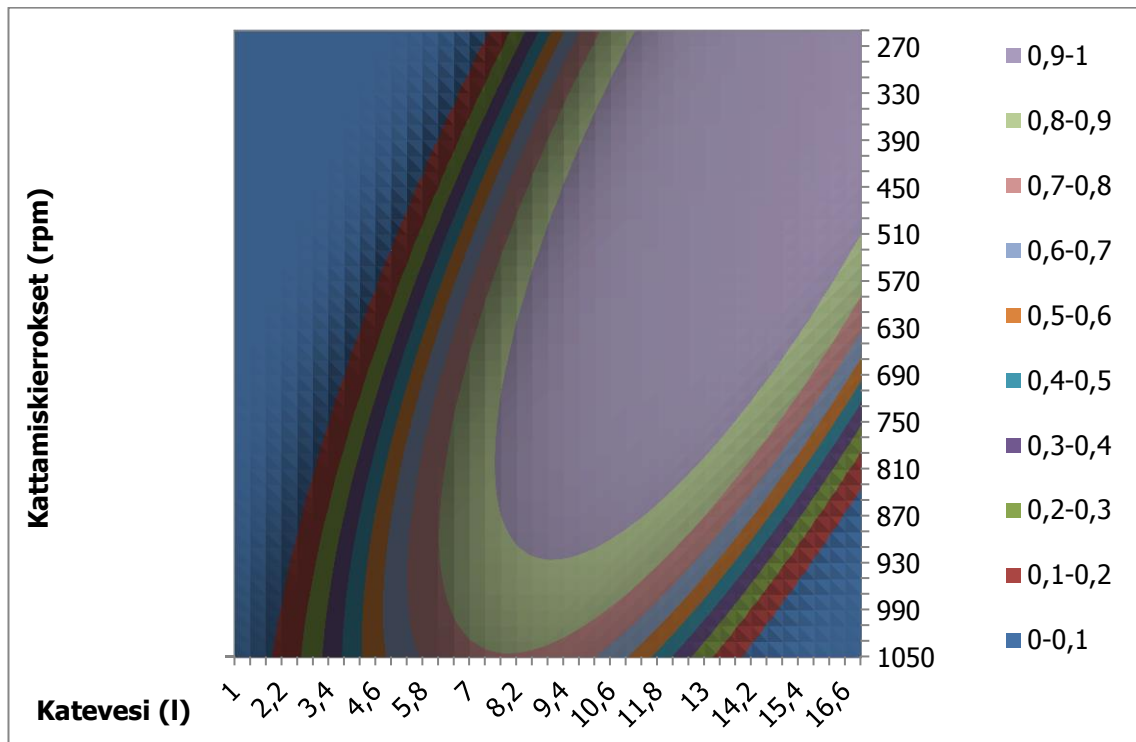
Kuvio 15. Vastepintakuvaaja 3-keiton värille.

Koska Excelin Contour-kuvaaja on vastepintakuvaaja kuvattuna ylhäältä päin, piirretään matriisitaulukosta vielä 3D-pintakuvaaja (kuvio 16).



Kuvio 16. Vastepintakuvaaja piirrettyä värin matriisitaulukosta.

Kuten molemmista kuvioista nähdään, lisättäessä kattamiskierroksia voidaan laskea katevettä ja silti pysytään saman värin alueella. Matalin väri löytyy turkoosilta alueelta 40–44 IU, kateveden ollessa yli yhdeksän litraa, mutta ei ollakaan etsimässä absoluutisesti matalinta väriä vaan väriä, joka on optimi saannon ja kiteen värin suhteen. Nykyisillä ajoarvoilla yhdeksän litraa katevettä ja 620 rpm:n kattamiskierroksilla päästään oranssille värialueelle 44–48 IU. Vähentämällä katevettä kahdella litralla seitsemään litraan ja samalla nostamalla kattamiskierroksia 750 rpm päästään samalle värialueelle. Haluttavuusmatriisista voidaan piirtää oma vastepintakuvaaja (kuvio 17), josta voidaan tarkastella uusia ajoarvoja haluttavuuden mukaan.



Kuvio 17. Värinhaluttavuudesta piirretty vastepintakuvaaja.

Kuviota 17 tarkasteltaessa huomataan, että seitsemän litran katevesisyötöllä ja 750 rpm kattamiskierroksilla päästään vihreälle haluttavuusalueelle, joka on 0,80–0,90 %. Kuviosta nähdään myös, että nykyisillä ajoarvoilla ollaan haluttavuusalueella 0,90–1,0 %, joten haluttavuus muuttuu hyvin vähän vaikka katevettä vähennetäänkin.

6 Testaus

6.1 Optimipisteen testaus

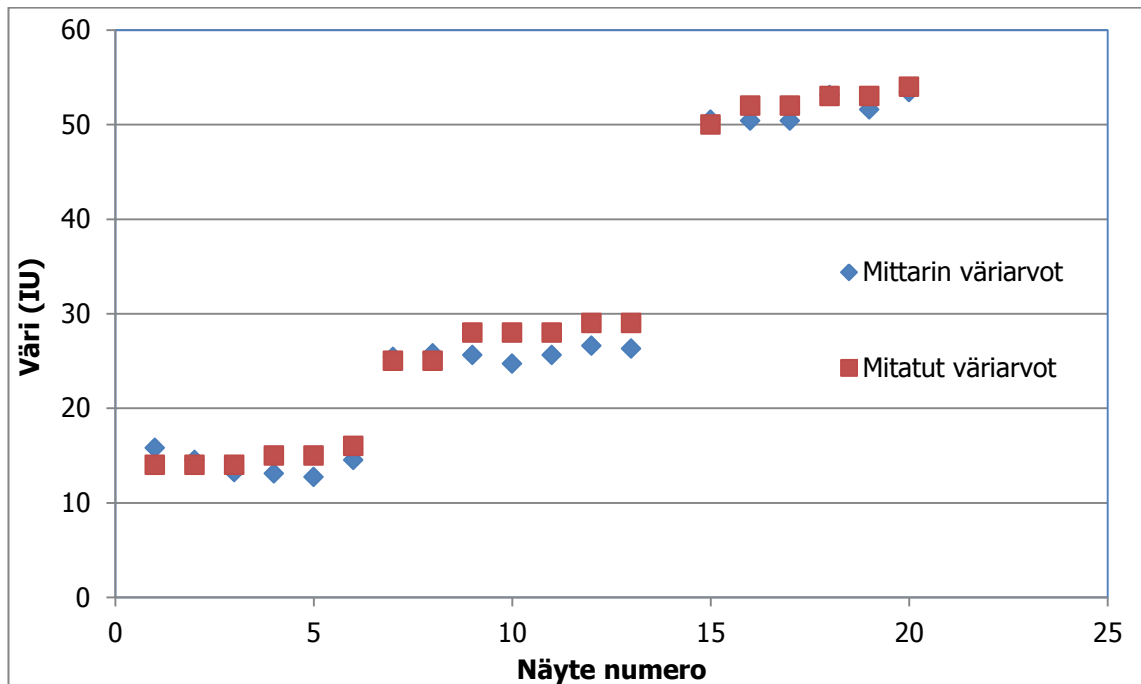
Uusiksi ajoarvoiksi vastepintakuvaajien perusteella valittiin 7 litraa katevettä, 750 rpm:n kattamiskierrokset ja linkousajaksi 53 s. Linkousajalla ei ollut vaikutusta väriin, mutta koska sen laskeminen alkaa kateveden syötöstä, vähennettiin sitä seitsemän sekuntia alkuperäisestä.

Testaus tehtiin ajamalla ensiksi noin puolikeittoa vanhoilla arvoilla ottaen neljä eri näytettä lingosta, ryönäsäiliöstä ja kuljetushihnalta. Kuljetushihnalta otettiin näyte samaan aikaan sekä paperipussiin että 500 ml muovipurkkiin. Loppupuoli keitosta ajettiin uusilla arvoilla ja otettiin samat näytteet kuin vanhoillakin arvoilla. Samat kokeet tehtiin kahdesta eri keitosta. Ensimmäisessä oli väri erityisen korkea ja toisessa matala.

Hihnalta otettiin näytteet, jotta niistä voitaisiin tutkia kiteiden kosteutta. Kosteutta tutkittiin silmämääräisellä arvioinnilla katsomalla, paakkuuntuvatko kiteet ajettaessa lyhyemmällä linkousajalla. Lingosta otetuista näytteistä mitattiin värit laboratoriossa, ja ryönistä otetuista näytteistä mitattiin johtokyky. Ryönän johtokykyä verrattiin kettoastiasta mitattuun johtokykyyn ja näin saatiin laskettua saantoprosentti.

6.2 Kalibrointisuoran tarkistus

Värimittaria testattiin vertaamalla värimittarin antamaa väriarvoa näytteestä mitattuun väriin kahden viikon ajan. Näytteet otettiin ja mitattiin samalla tavalla kuin aikaisemmin, ja tulokset piirrettiin kuvioon 18.



Kuvio 18. Mittarin antamien väriarvojen vertailu todellisen värin kanssa.

Kuviosta 18 huomataan, että mittarin väriarvot seuraavat hyvin todellista väriä ja muutoksia on vain muutaman IU-yksikön verran, mikä on hyväksyttävä ero. Kuviosta 18 pitää huomioida, että näytteet on otettu vain silloin, kun sokeria tulee hihnalle tasaisesti. Näytteitä ei ole otettu keiton vaihtojen aikana tai silloin, jos linko on pysähtynyt pitkäksi aikaa kesken keiton, esimerkiksi kun linkooja haluaa höyryttää täyttöluukun.

7 Tulokset

7.1 Optimoinnin tulokset

Koekeitoista tarkasteltiin värin, saannon ja invertin muutosta ajettaessa vanhoilla ja uusilla ajoarvoilla. Tuloksia uusien ja vanhojen ajoarvojen välillä vertaillaan taulukossa 6.

Taulukko 6. Koekeitoista lasketut saannot, värit ja invertit. Keitoista saadut tulokset löytyvät liitteestä 11.

Keitto 1	vanhoilla arvoilla	Uusilla arvoilla	Erotus
Saantojohtokyky	44,3	47,9	3,6 %
Väri	74,2	81,5	7,2 IU
Invertti	1,89	1,94	0,05
Keitto 2	vanhoilla arvoilla	Uusilla arvoilla	Erotus
Saantojohtokyky	46,3	48,6	2,2 %
Väri	26,2	29,7	3,5 IU
Invertti	0,96	0,98	0,02

Tarkasteltaessa ensimmäisestä ja toisesta koekeitosta saatuja tuloksia huomataan, että matalavärisissä keitoissa väri pysyy hyvin matalalla, vaikka katevettä vähennetäänkin. Korkeavärisessä koekeitossa väri nousi yli 3-kiteen ylärajan, joka on 80 IU, mutta keitto oli poikkeuksellisen tummaa. Tummemmassa keitossa saanto johtokyvystä sekä invertistä oli kertaluokkaa parempi kuin vaaleammassa keitossa. Hihnoilta otettuja näytteitä tutkittiin puolitoista viikkoa näytteiden oton jälkeen, eikä uusien tai vanhojen ajoarvojen kanssa tuotettujen sokerien välillä havaittu minkäänlaista eroa paakkuuntumisessa tai tarttumisessa.

Saaduista tuloksista laskettiin, kuinka paljon säästettäisiin vuodessa rahaa, jos saanto-prosentti paranisi 2 % kaikilla neljällä linjalla, kuten se parani kolmoskeitossa. Oletuksena on, että uudet ajoarvot toimivat yhtä hyvin muilla linjoilla ja raakasokerin väri pysyy alhaisena koko vuoden. Säästöt laskettiin tuotantotaseella yhteistyössä tehtaan

prosessi-insinöörin kanssa käyttäen hyväksi tilikauden tuloksia ja laboratoriossa mitattuja mehujen sokeripitoisuuksia.

Tuotantotaseen Excel-tulostus löytyy liitteestä 12, jonka alussa on selitetty, miten lascut on suoritettu Excelissä. Taseessa on olettamuksena, että keittojen keskimääräinen saantoprosentti on 50 % ja vuoden keskiarvoinen tuotanto on 100 000 tonnia kidettä. Tulokseksi taseesta saatiin **132 000 €** säästöä vuodessa. Tulos koostuu höyrynsäätöstä, rehuksi myytävän melassin vähenemisestä ja jälkipäässä tapahtuvasta kiteen uudelleen käsittelyn vähenemisestä. Vaikka jossain vaiheessa vuotta kiteen väri olisi hetkellisesti korkeaa, säästöä saataisiin kuitenkin huomattava summa.

7.2 Värimittarin tuloksista

Värimittarin kanssa oli hyvin paljon vaikeuksia, sillä Brite-X-mittarit olivat hyvin herkkiä pienillekin häiriöille. Niihin vaikuttaa erityisen paljon sokeripöly ja sokerikerroksen paksuus, mutta myös pieni liikahdus tai ympäristön muuttuminen. Ympäristön muutoksella tarkoitetaan mittarin alapuolella kulkevaa hihnaa, joka vaihdettiin kesken insinöörityön, mikä vaikutti suoraan värimittarin antamaan lukemaan, sillä uusi hihna oli paljon vaaileampi ja mittarin nollataso on tyhjä hihna. Myös pienet mittarin liikutukset vaikuttivat lukemaan, ja tätä varten pitää mittarin kiinnityspaikka merkitä selvästi, jotta se ei muutu esimerkiksi remonttien aikana. Pölynpoiston ansiosta värimittarin väriarvo ”seuraa” hyvin kiteen oikeaa väriä. Kaikkien näiden ongelmien takia värimittarin aikataulu myöhästyi, eikä värimittaria saatu automatisoimaan kateveden syöttöä tähän insinöörityöhön.

Koesuunnittelusta voidaan tarkastella kateveden rajoja 3-linjalle, kun on päätetty, että 750 rpm on käytettävä kattamiskierrosluku. Taulukossa 7 on merkitty väritaso, jossa keitosta saatava kiteen väri haluttaisiin pitää katevettä automatisoimalla, sekä kateveden muutosrajat. Haluttu raja ei ole aivan kiteiden maksimiväriaraja, sillä mukana halutaan pitää pieni vara, ettei kiteiden laatu pääse menemään liian huonoksi. Minimikatevedessä halutaan pitää pieni turvaraja, koska kuten kuviosta 15 nähdään, alkaa väri huonontua hyvin nopeasti, jos katevettä vähennetään vielä lisää optimiarvosta.

Taulukko 7. Kiteiden halutut värit ja niiden linkouksessa käytetyt maksimi- ja minimikatevedet.

Keitto	Haluttu väri	Maksimiväri	Minimikatevesi (l)	Nykyinen katevesi (l)	Maksimikatevesi (l)
1	20	38	4	5	6
2	30	40	4	7	8
3	60	80	5	9	10

Kateveden automatisointi ilman etäisyysmittaria toimisi niin, että aina kun uutta keittoa alettaisiin lingota, linkousarvoina toimisi optimointipiste. Puolen tunnin kuluttua ohjelma tarkistaisi värin hihnalla, jolloin sokeri kulkee hihnalla tasaisesti ja muuttaisi katevettä sen mukaan, onko väri eri kuin haluttu arvo. Katevettä muutettaisiin aina puolella litralla kerrallaan ja uusi muutoskohta olisi taas puolen tunnin kuluttua, jolloin uusi kide on kulkeutunut värimittarille. Värin säätely loppuisi hieman ennen viimeistä lingollista. Seuraavan kerran, kun tämä keitto tulisi linkoukseen, linkousarvoina toimisivat ne arvot, joihin jäätiin edellisen keiton lopussa. Ilman etäisyysmittaria värimittari saattaa antaa liian korkean arvon, jos sokerikerros on kauan hyvin ohutta, mutta muutos on vain 0,5 litraa, joka palautuu ennalleen jo puolen tunnin kuluttua.

Tulevaisuudessa värimittarien tarkastuksena käytettäisiin kerran vuorokaudessa hihnoilta otettavia värinäytteitä, joita verrattaisiin värimittarin antamaan väriarvoon. Väriarvon poiketessa yli +/- 5 IU-yksikköä laboratoriossa mitatusta väristä otettaisiin värimittari pois käytöstä. Linko toimisi optimiajoparametreilla, kunnes vika olisi selvitetty. Näytteet pitää jatkossa ottaa aina, kun kide kulkee hihnalla tasaisesti.

8 Yhteenveto

8.1 Tuloksista

Optimoinnista saatiin uusiksi ajoarvoiksi 3-keitolle taulukosta 8 nähtävät arvot.

Taulukko 8. 3-lingon uudet sekä vanhat ajoarvot.

	Uudet arvot	Vanhat arvot
Katevesi	7	9
Kattamiskierrokset	750	620
Linkousaika	53	60

Koesuunnittelulla onnistuttiin löytämään paremmat ajoarvot 3-lingolle. Saatuja arvoja voidaan käyttää jatkossa myös muillakin lingoilla, etenkin kattamiskierrosta, jonka pitää olla selvästi korkeampi kuin se on nyt. Tuloksista voidaan sanoa, että ne ovat luotettavat, sillä CC-koesuunnitelman selityssaste on yli 95 %, ja kokeet antoivat hyviä tuloksia. Kokeista ei ollut haittaa yritykselle, ja kiteen laatu saatiin pidettyä hyvänä. Tulokseksi saatiin tehokkaampi tuotanto, jota voidaan käyttää myös muilla lingoilla.

Uusilla arvoilla ajettaessa arvioitiin saannon parantuvan noin 2 % keittoa kohden jokaisella linjalla, ja tuotantotaseella laskettuna se tuottaa vuodessa parhaimmillaan **132 000 €** raaka-aineen pysyessä hyvänä.

Värimittaria ei ehditty ottaa käyttöön insinööriyöhön varatussa ajassa. Voidaan kuitenkin arvioida, että matalavärisellä kiteellä voisi pitää kateveden minimiarvoja päällä kaikilla kolmella keitolla, mikä vähentäisi katevettä yhteensä kahdeksan litraa nykyisistä ajoarvoista. Tarkastelemalla pelkästään optimiparametreilla ajettaessa saatua hintasäästöä voidaan sanoa, että värimittarien ollessa toiminnassa säästöt voisivat olla vieläkin suurempia.

8.2 Jatkotoimet

Seuraava vaihe projektissa on saada värimittari säätelemään katevettä ja tarkkailla, pysyykö kiteen väri halutuilla raja-alueilla. Etäisyysmittarin kanssa pitää tutkia, millä kertoimella se kannattaa ottaa mukaan värimittarin antamaan lukemaan. Jos keittojen värit pysyvät reilusti alle niille asetetun ajoarvon, vaikka ajetaankin minimi katevedellä, voidaan minimiarvojen laskemista harkita.

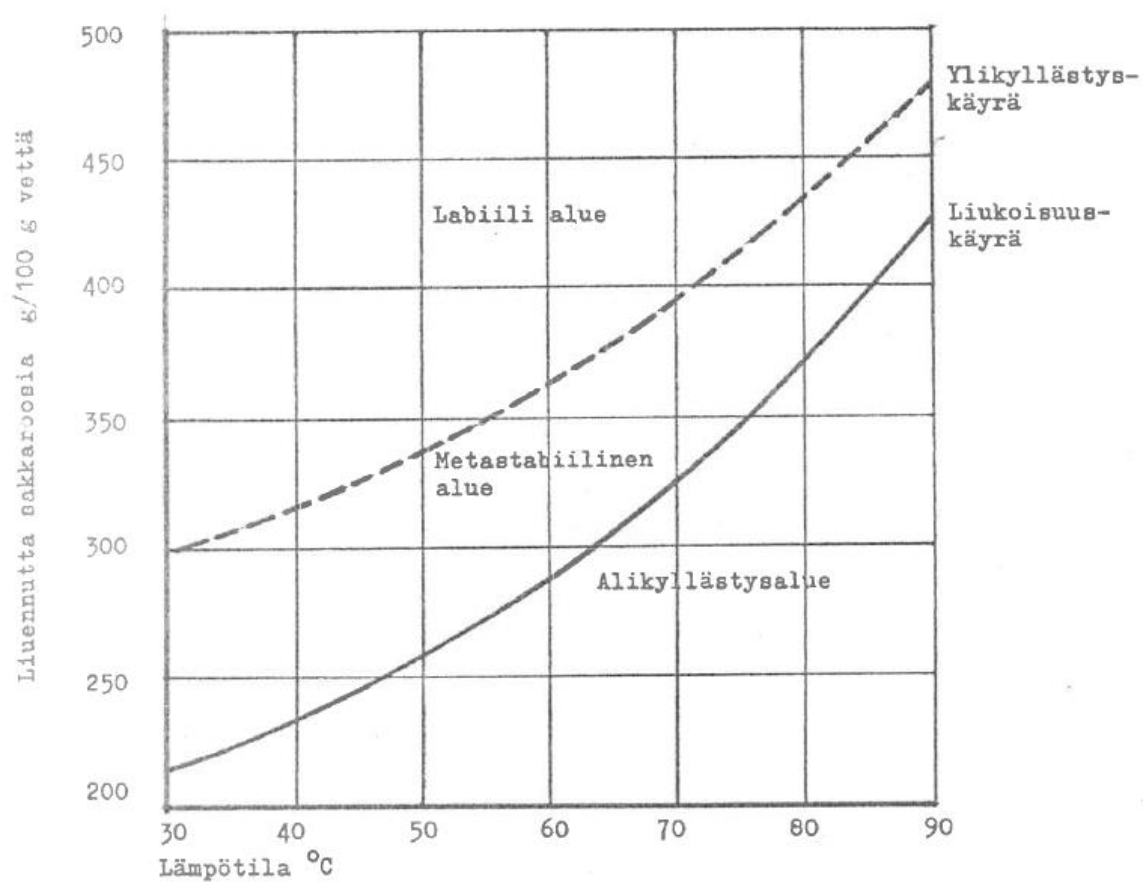
Kokeita tehdessä huomattiin, että värimittarit ovat hyvin herkkiä kaikille muutoksille tai poikkeamille, etenkin pienille liikauduksille ja taustan muutoksille. Ennen värimittarien käyttöönottoa pitää prosessin henkilökuntaa valistaa värimittarin toiminnasta ja siitä, ettei sen mittausalueelle saa turhaan mennä. Kidepuolen kenttätöntyöntekijöitä, jotka ottavat kidenäytteet kerran vuorokaudessa, täytyy opastaa ottamaan näyte vasta värimittarin ja etäisyysmittarin jälkeen. Joka vuorokausi tehtävistä värinäytteistä voisi aina tarkistaa jokaisen linjan värimittarin tarkkuuden, jonka pitäisi olla ± 5 IU-väriyksikköä.

Värimittareille pitää kehittää kalibrointiohje, jos jostain syystä mittari pääsee liikkumaan tai hihnaa joudutaan siirtämään. Ohjeiden ideana on, että kuka tahansa tehtaalta voisi kalibroida mittarin. Mittarin kalibrointiin tarvittaisiin muutama värimittaus, joiden tulosta ja My Community -arvoa verrattaisiin tässä insinööriyössä tehtyyn kalibrointisuoraan. Tästä erotuksesta saataisiin muutoskerroin, jolla saataisiin vanhoista arvoista uudet kertoimet värimittarille.

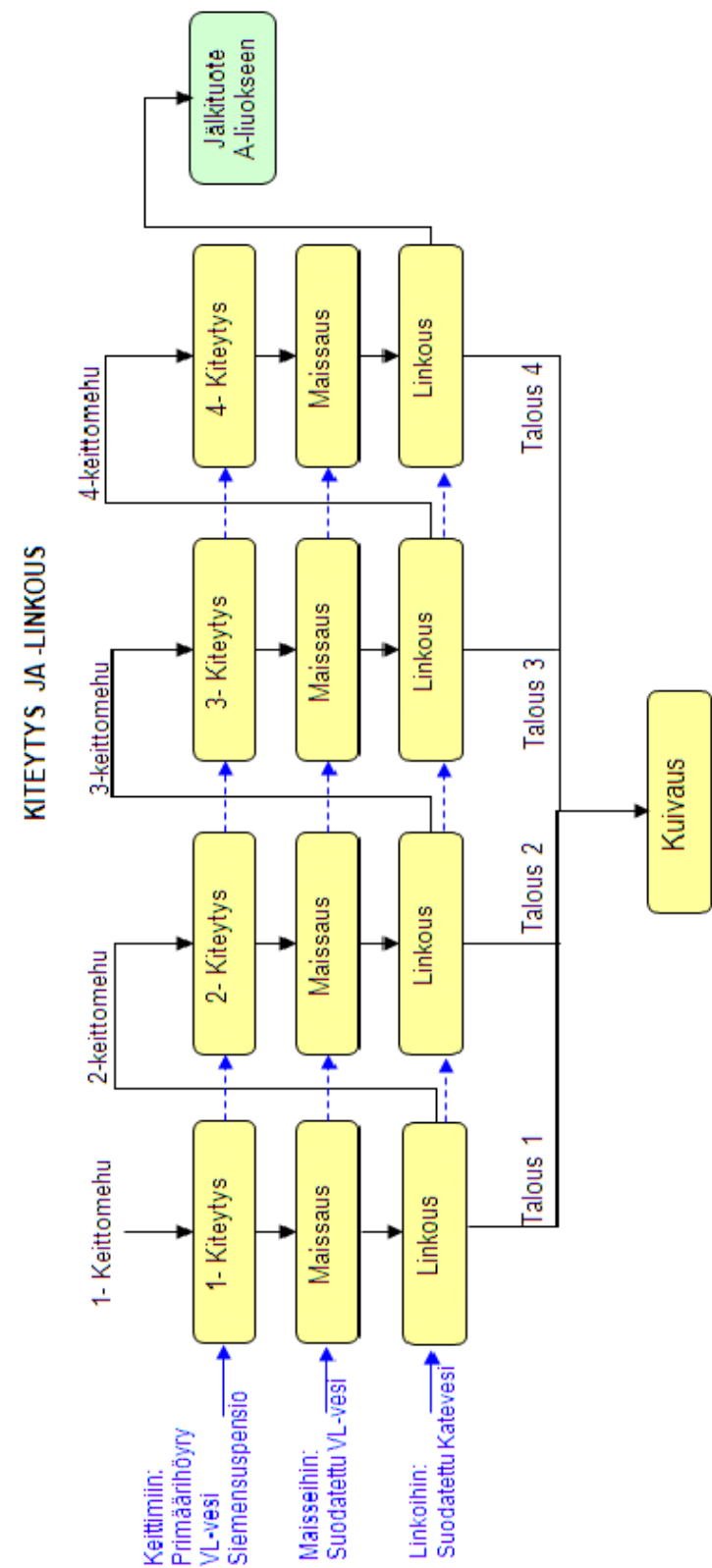
Lähteet

- 1 Yritysesittely. 2012. Suomen Sokeri Oy.
- 2 Heiska, Mikko. 2012. PowerPoint-materiaali. Suomen Sokeri Oy.
- 3 Sakkarooosi. WWW-dokumentti.
<<http://www.worldofmolecules.com/foods/sucrose.htm>> Luettu 08.04.2013.
- 4 Loisa, Markku & Laakso, Pentti. 1983. Sokeriteknologia/sokerinpuhdistamot. Opetuskirje. Suomen Sokeri Oy.
- 5 Van der Poel, P. Schiweck, H. & Schwartz, T. 1998. Sugar technology. Beet and cane sugar manufacture. Berlin: Bartens.
- 6 Heiska, Mikko. 2013. Prosessi-insinööri. Suomen Sokeri Oy, Kirkkonummi. Keskustelu 05.04.2013
- 7 Riffer, Richard. 1997. Adsorption processes. Cane Sugar refiners' institute.
- 8 Mullin, J. 2001. Crystallization. 4th ed. Oxford: Reed.
- 9 Grimwood, Clive. 2008. Centrifugals and their operation. Course notes. Nicholls State University.
- 10 Prosessikaaviot, Granulated sugar process, haccp. Lohkokaavio. 2002. Suomen Sokeri Oy.
- 11 Itkonen, Erik. 2013. Linkooja, Suomen Sokeri Oy, Kirkkonummi. Keskustelu 03.04.2013.
- 12 ICUMSA. WWW-dokumentti. <<http://www.icumsa.org/>>. Luettu 3.4.2013 09:45.
- 13 ICUMSA. 2007. Method of the determination of white sugar solution. Työohje.
- 14 ICUMSA. 1994. The determination of conductivity ash in raw sugar, brown sugar, juice, syrup and molasses. Työohje.
- 15 Helena Rautakoski. 2001. Märkä/kuiva:invertin määrittäminen Lane-Eynon-titrauksella. Työohje.
- 16 Hujic, Helene. 2012. Happojen ja sokerien määrittäminen HPLC-menetelmällä. Opinnäytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu.
- 17 Snyder, R Lloyd. Kirkland, J Joseph. & Dolan, W John. 2010. Introduction to Modern Liquid Chromatography. 3rd ed. Hoboken: Wiley.

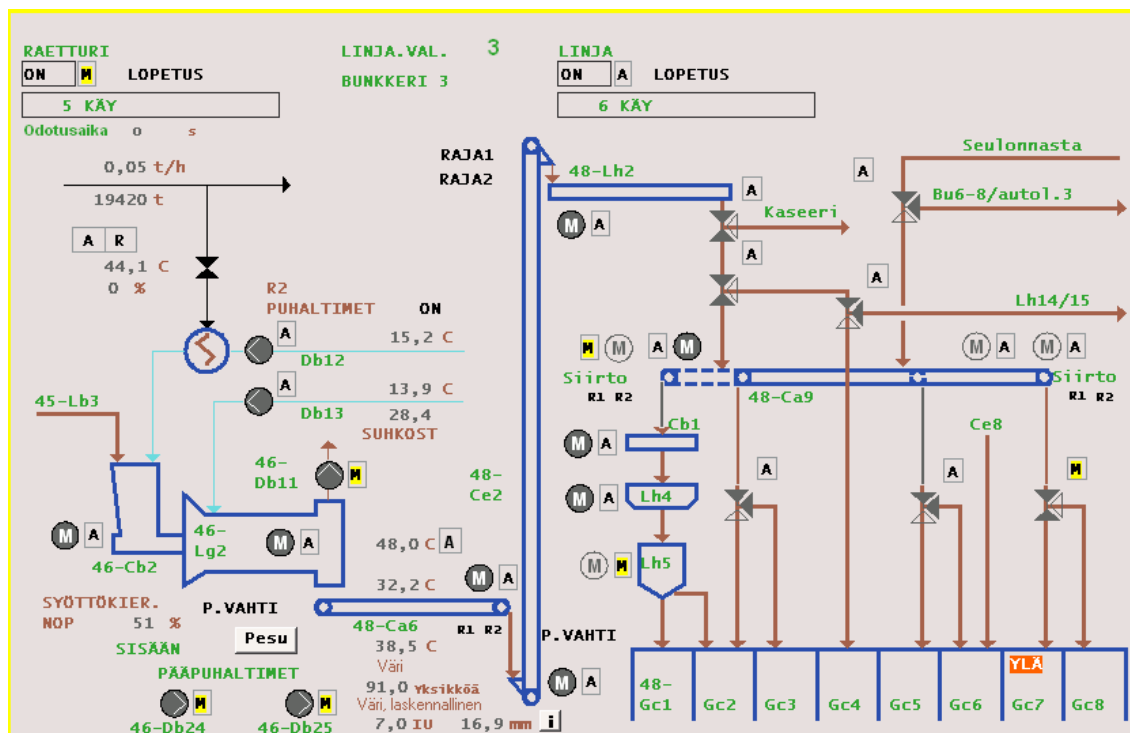
- 18 Lehtovaara, Anssi. 2009. Linkojen kateveden optimointi. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 19 Goupy, Jacques & Creighton, Lee. 2007. Introduction to Design of Experiments. With JMP Examples. 3rd ed. North Carolina: SAS.
- 20 Pasanen Ossi. 2012. Koesuunnittelu. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 21 Eriksson, L. Johansson, E. Kettaneh-Wold, N. Wikström, C. & Wold, S. 2008. Design of experiments. Principles and applications. 3rd ed. Umeå: Umetrics AB.
- 22 Taavitsainen, Veli-Matti. 2006. Excel-pohjainen koesuunnittelun peruskurssi. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 23 Villikka, Anni. 2012. Elintarvike-entsyymien säilyvyysseuranta EFSA rekisteröintiä varten. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 24 Pham, Hoang. 2006. Handbook of Engineering Statistics. London: Springer.
- 25 Lehtovaara, Anssi. 2013. Laatuinsinööri. Suomen Sokeri Oy, Kirkkonummi. Keskustelu. 8.4.2013.
- 26 Heikura, Jouko & Suomela, Reijo. 2013. Myyntipäälliköt. Suomen Sokeri Oy, Kirkkonummi. Sähköpostikeskustelu. 6.5.2013.
- 27 Talvitie, Erkki. 2013. Tuotantopäällikkö. Suomen Sokeri Oy, Kirkkonummi. Keskustelu. 6.5.2013
- 28 Toivanen, Samuli. 2013. Projektipäällikkö. Suomen Sokeri Oy, Kirkkonummi. Raporttikirjaukset.

Puhtaan sakkaroosiliuoksen ali- ja ylikyllästysalueet

Kiteytyksen ja linkouksen lohkokaavio



DNA:n ohjauskuva, värimitarin ja etäisyysmittarin tiedot alareunassa



Kolmannen asteen yhtälön kalibrointisuora

Y (väri)	Mittarin lukema
10,5	91
11,3	90,5
12,2	90
13,1	89,5
14,1	89
15,2	88,5
16,3	88
17,6	87,5
19,0	87
20,4	86,5
22,0	86
23,8	85,5
25,6	85
27,6	84,5
29,8	84
32,1	83,5
34,6	83
37,2	82,5
40,1	82
43,1	81,5
46,3	81
49,7	80,5
53,3	80
57,2	79,5
61,2	79
65,5	78,5
70,1	78
74,9	77,5
79,9	77

Kvadraattinen regressiomalli kolmella muuttujalla

X1	X2	X3	X1*X2	X1*X3	X2*X3	X1 ²	X2 ²	X3 ²	X1*X2*X3	Vaste (Väri)
-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	49,2
-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	47,9
-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	45,5
-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	46,4
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	43,3
1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	43,3
1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	43,7
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	43,6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44,4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44,5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44,8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44,7
2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	43,1
-2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	52,4
0	2	0	0	0	0	0	4	0	0	45,5
0	-2	0	0	0	0	0	4	0	0	45,9
0	0	2	0	0	0	0	0	4	0	43,5
0	0	-2	0	0	0	0	0	4	0	45,1

Regressioanalyysi värille

Regressiotulokset	
Multiple R	0,987623
Selitysaste	0,9754
Mukautettu selitysaste	0,940257
Residuaalien keskivirhe	0,585152
Kokeet	18

ANOVA					
	df	Residuaalien neliösumma	Residuaalien vapausasteet	F	Mallin mer- kitsevyys F
Regressio	10	95,03403	9,503403473	27,755	0,0001087
Residuaalit	7	2,396823	0,342403337		
Summa	17	97,43086			

	Kertoimet	Keskivirhe	t-arvot	P- arvot	Alempi 95%
Leikkauspiste	44,56236	0,282655	157,656104	1E-13	43,893985
Katevesi	-2,10671	0,146288	-14,4011236	2E-06	-2,452629
Kattamiskierrokset	-0,33799	0,146288	-2,31043357	0,0542	-0,683905
Linkousaika	-0,23634	0,146288	-1,61556633	0,1502	-0,582255
Katevesi*kattamiskier.	0,736968	0,206883	3,562253698	0,0092	0,2477687
Katevesi*Linkousaika	0,055908	0,206883	0,270239936	0,7948	-0,433292
Kattamiskier.*Linkousai.	0,25921	0,206883	1,252930611	0,2505	-0,22999
Katevesi ²	0,767125	0,125274	6,123592634	0,0005	0,4708997
Kattamiskierrokset ²	0,248706	0,125274	1,985299025	0,0875	-0,047519
Linkousaika ²	-0,09182	0,125274	-0,73299187	0,4874	-0,38805
Kaikkien yhdysvaikutus	-0,27954	0,206883	-1,35119968	0,2187	-0,768739

Uusi regressioanalyysi värille

Regression tulokset	
Multiple R	0,976
Selitysaste	0,952
Mukautettu selitysaste	0,932
Residuaalien keskivirhe	0,623
Kokeet	18

ANOVA					
	df	Residuaalien neliösumma	Residuaalien vapausasteet	F	Mallin merkitsevyys F
Regressio	5	92,76872	18,55374317	47,756	1,65E-07
Residuaalit	12	4,662142	0,388511854		
Summa	17	97,43086			

	Kertoimet	Keskivirhe	t-arvot	P-arvot	Alempi 95%
Intercept	44,429	0,230171	193,0248056	2,51341E-22	43,927296
Katevesi	-2,107	0,155827	-13,519581	1,26747E-08	-2,44623
Kattamiskierros	-0,338	0,155827	-2,16900395	0,050885475	-0,677506
Yhdysvaikutus	0,737	0,220372	3,344195843	0,005842556	0,2568182
Katevesi ²	0,796	0,126507	6,294839193	3,97823E-05	0,5207064
Kattamiskierros ²	0,278	0,126507	2,1968934	0,048405836	0,0022873

Yhteensopimattomuustesti eli lack of fit test

Lyhenne	Selitys	Laskukaava
SSR	Residuaalien neliösumma	Regression tulostuksesta
MSR	Residuaalien keskineliösumma	Regression tulostuksesta
SSE	Koevirheen neliösumma	Koevirhe \times 2
dfE	Koevirheen vapausasteet	Keskipisteet - 1
MSE	Koevirheen keskineliösumma	Koevirhe ²
SSLOF	Yhteensopimattomuusneliösumma	SSR-SSE
dfLOF	Yhteensopimattomuusneliösumman vapausasteet	Regression tulostuksesta
MSLOF	Yhteensopimattomuuskeskineliösumma	SSLOF-dfLOF
FLOF	F-testisuuure	MSLOF/MSE
pLOF	p-arvo	Excelissä: FDIST(F;dfLOF;dfE)

SSR	MSR	SSE	dfE
4,6621	0,3885	0,049	3
MSE	SSLOF	dfLOF	MSLOF
0,025	4,613	6	0,769
FLOF	pLOF		
31,174	0,0085		

Matriisitaulukko värille

	-4	-3.6	-3.2	-2.8	-2.4	-2	-1.6	-1.2	-0.8	-0.4	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4
4	57	55	53	51	50	49	48	48	47	47	48	48	49	50	51	52	54	56	58	61	64
3.6	57	55	53	52	50	49	48	47	47	47	47	47	48	49	50	51	53	55	57	59	62
3.2	58	56	54	52	50	49	48	47	47	46	46	46	47	48	49	50	51	53	55	57	60
2.8	59	56	54	52	50	49	48	47	46	46	46	46	46	47	48	49	50	52	54	56	58
2.4	59	57	54	52	51	49	48	47	46	45	45	45	45	46	47	48	49	51	52	54	57
2	60	57	55	53	51	49	48	47	46	45	45	45	45	45	46	47	48	49	51	53	55
1.6	61	58	56	53	51	50	48	47	46	45	45	44	44	45	45	46	47	48	50	52	54
1.2	62	59	56	54	52	50	48	47	46	45	44	44	44	44	45	45	46	47	49	50	52
0.8	63	60	57	55	53	51	49	47	46	45	44	44	44	44	44	44	45	46	48	49	51
0.4	64	61	58	56	53	51	49	48	46	45	44	44	43	43	43	44	45	46	47	48	50
0	66	62	59	57	54	52	50	48	47	45	44	44	43	43	43	43	44	45	46	47	49
-0.4	67	64	60	58	55	53	50	49	47	46	45	44	43	43	43	43	43	44	45	46	48
-0.8	68	65	62	59	56	53	51	49	48	46	45	44	43	43	43	43	43	44	44	45	47
-1.2	70	66	63	60	57	54	52	50	48	47	45	44	43	43	42	42	43	43	44	45	46
-1.6	72	68	64	61	58	55	53	51	49	47	46	44	44	43	42	42	42	43	43	44	45
-2	73	69	66	62	59	57	54	52	50	48	46	45	44	43	43	42	42	42	43	44	45
-2.4	75	71	67	64	61	58	55	53	50	49	47	45	44	43	43	42	42	42	43	43	44
-2.8	77	73	69	65	62	59	56	54	51	49	48	46	45	44	43	42	42	42	42	43	44
-3.2	79	75	71	67	64	60	58	55	52	50	48	47	45	44	43	43	42	42	42	43	43
-3.6	81	77	73	69	65	62	59	56	54	51	49	47	46	45	44	43	42	42	42	42	43
-4	83	79	75	71	67	64	60	57	55	52	50	48	47	45	44	43	43	42	42	42	43

Haluttavuusmatriisitaulukko värille

	-4	-3,6	-3,2	-2,8	-2,4	-2	-1,6	-1,2	-0,8	-0,4	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
4,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,5	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
3,6	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,5	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
3,2	0,0	0,1	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0
2,8	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0
2,4	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,0
2,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,2	0,1
1,6	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,5	0,3	0,1
1,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,5	0,2
0,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,6	0,4
0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,5
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7
-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8
-0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8
-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
-1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
-2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
-2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
-2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
-3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,5	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
-3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
-4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,5	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Optimimointikokeiden tulokset

	Vanhat ryönät	Uudet ryönät	Keittomehu	Vanhat ryönät	Uudet ryönät	Keittomehu
Keitto	1	1	1	2	2	2
Johtokyky ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1,79	1,89	0,97	0,73	0,75	0,38
	1,78	1,89	0,95	0,70	0,75	0,39
	1,75	1,86	1,00	0,73	0,76	0,39
	1,71	1,88	1,00	0,73	0,75	0,39
Keskiarvo ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1,76	1,88	0,98	0,72	0,75	0,39

	Vanhoilla arvoilla	Uusilla arvoilla	Vanhoilla arvoilla	Uusilla arvoilla
Keitto	1	1	2	2
Väri (IU)	73,0	83,4	25,2	29,6
	73,8	83,3	25,4	29,1
	75,1	81,5	26,7	30,1
	75,0	77,7	27,6	30,1
Keskiarvo (IU)	74,2	81,5	26,2	29,7

	Vanhoilla arvoilla	Uusilla arvoilla	Keittomehu
Keitto	1	1	1
Invertti	1,89	1,94	1,04
	Vanhoilla arvoilla	Uusilla arvoilla	Keittomehu
Keitto	2	2	2
Invertti	0,96	0,98	0,51

Tuotantotaseella laskettu säästö

Symboli	Selitys
<i>Ka</i>	Kuiva-aine
<i>Ln</i>	Luonnonpaino
<i>KM_{Ln}</i>	Keittomehun luonnonpaino
<i>Alkupit.</i>	Edellisestä vaiheesta saapuvan liuoksen Rk
<i>KM_{Ka}</i>	Keittomehun kuiva-aine
<i>S%</i>	Saanto prosentti
<i>LRk</i>	Loppukeiton massan Rk
<i>M₉₀</i>	Massan määrä, kun Rk 90
<i>MS_{Ka}</i>	Massasta sokereita kuiva-aineena
<i>K_O</i>	Keittovaiheen osuus
<i>SM</i>	Sokerin määrä
<i>SMS</i>	Sokerin määrän summa
<i>HVM</i>	Haihdutettavan veden määrä
<i>HVMS</i>	Haihdutettavan veden määrän summa
<i>RM</i>	Ryönän määrä ennen laimennusta
<i>RRk</i>	Ryönän Rk ennen laimennusta
<i>RS</i>	Ryönän Sokerit
<i>MRk</i>	Ryönän Rk laimennuksen jälkeen
<i>LVM</i>	Laimennusveden määrä
<i>LVMS</i>	Laimennusveden määrän summa
<i>MM_{Ln}</i>	Mehun määrä luonnonpainona
<i>MS_{Ka}</i>	Mehun Sokerit kuiva-aineena
<i>KTP</i>	Keittomehun tuhkapitoisuus
<i>Puhmel_{TP}</i>	Puhdistamomelassin tuhkapitoisuus
<i>MELM_{Ka}</i>	Melassin määrä kuiva-aineena
<i>TKPMH</i>	Teollisuuskiteen ja prosessimelassin hintaero
<i>SMV</i>	Säästö melassin vähenemisestä
<i>KUHJ</i>	Kiteen uudelleen käsittelyn hinta jälkipäässä
<i>SUVJ</i>	Säästö uudelleen käsittelyn vähentymisestä jälkipäässä
<i>HK</i>	Höyryn kulutus
<i>HH</i>	Höyryn hinta
<i>SH</i>	Säästö höyrykustannuksissa

Symboli	Laskukaava	Symboli	Laskukaava
KM_{Ln}	Annettu Arvo	$Alkupit.$	Vuoden 2012 keskiarvo
KM_{Ka}	$KM_{Ln} \times Alkupit$	$S\%$	Arvioitu keskiarvo
LRk	Tunnettu arvo	M_{90}	KM_{Ka}/LRk
MS_{Ka}	$LRk \times M_{90}$	K_0	SM/SMS
SM	$S\% \times M_{90}$	SMS	SM Summa
HVM	$KM_{Ln} - M_{90}$	$HVMS$	HVM Summa
RM	$M_{90} - SM$	RRk	$(MS_{Ka} - SM)/RM$
RS	$MS_{Ka} - SM$	MRk	Vuoden 2012 keskiarvoista. 5-mehu, 4-keiton ryönästä.
LVM	$(RS - RM \times MRk)/MRk$	$LVMS$	LVM Summa
MM_{Ln}	$RM + LVM$	MS_{Ka}	$MRk \times MM_{Ln}$
KTP	Ryönästä mitattu keskiarvo	$Puhmel_{TP}$	Tilikauden keskiarvo
$MELM_{Ka}$	$KTP/Puhmel_{TP} \times KM_{Ka}$	$TKPMH$	Tilikauden keskiarvosta (lähde 26)
SMV	$MELM_{Ka} - MELM_{Ka} \times TKPMH$	$KUHJ$	Saatu arvo (lähde 27)
$SUVJ$	$SMS - SMS \times KUHJ$	HK	Saatu arvo (lähde 28)
HH	Saatu arvo (lähde 28)	SH	$(HVMS - HVMS) \times HK \times HH$

4-keiton ryönän mittaukset

Mittaus	1	2	3	4	Keskiarvo
PVM	25.4.2013	25.4.2013	26.4.2013	26.4.2013	
Klo	21.40	22.40	00.00	00.40	
Keitosta mennyt	Alku	1/3	2/3	3/4	
Rk	76 %	76 %	76 %	76 %	76,0 %
Johtokyky ($\mu S/cm$)	1,595	1,807	1,814	1,811	1,81
Raffinoosi (ln-paino)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,60
Raffinoosi (kuiva-aine)	1 %	1 %	1 %	1 %	0,79 %
Sakkaroosi (ln-paino)	70,2	70,6	70,0	69,7	70,1
Sakkaroosi (kuiva-aine)	93 %	92 %	92 %	92 %	92,3 %
Glukoosi (ln-paino)	0,7	0,8	0,7	0,8	0,74
Glukoosi (kuiva-aine)	1 %	1 %	1 %	1 %	0,97 %
Fruktoosi (ln-paino)	0,6	0,6	0,6	0,7	0,64
Fruktoosi (kuiva-aine)	1 %	1 %	1 %	1 %	0,84 %
Invertti (kuiva-aine)	2 %	2 %	2 %	2 %	1,8 %
Kokonaissokerit (kuiva-aine)	95 %	95 %	95 %	94 %	94,9 %

ENNEN OPTIMOINTIA					
	1-Keitto	2-Keitto	3-Keitto	4-Keitto	SUMMA
Keittomehun ln (tn)	139305	62246	28081	12165	
Edellisestä vaiheesta saapuvan liuoksen Rk	74,7 %	74,3 %	73,2 %	75,1 %	
Keittomehun ka (tn)	104060	46249	20555	9136	
Saanto %	50 %	50 %	50 %	50 %	
Loppukeiton massan Rk	90 %	90 %	90 %	90 %	
Massan määrä, kun Rk 90 (tn)	115623	51388	22839	10151	
Massasta sokereita ka (tn)	104060	46249	20555	9136	
Keittovaiheen %-osuus	58 %	26 %	11 %	5 %	
Sokerin määrä (tn)	57811	25694	11420	5075	100000
Haihdutettavan veden määrä (tn)	23682	10859	5242	2014	41796
Ryönän määrä ennen laimennusta (tn)	57811	25694	11420	5075	
Ryönän Rk ennen laimennusta	80 %	80 %	80 %	80 %	
Ryönän sokerit (tn)	46249	20555	9136	4060	

Laimennus/linkous

	2-Mehu	3-Mehu	4-Mehu	5-mehu	Summa
Mehun Rk	74,3 %	73,2 %	75,1 %	76,0 %	
Laimennusveden määrä (tn)	4435	2387	745	265	7832
Mehun määrä ln (tn)	62246	28081	12165	5341	
Mehun sokerit ka (tn)	46249	20555	9136	4060	

Jälkipää (Jälkipään keitot A, B ja C on ajateltu yhdeksi keitoksi)

Jälkipään keitto	
Keittomehu ln (tn)	5341
Edellisestä vaiheesta saapuvan liuoksen Rk	76,0 %
Keittomehun ka (tn)	4060
Keittomehun tuhkapitoisuus ka(%)	1,8 %
Puhdistamomelassin tuhkapitoisuus ka (%)	8,5 %
Melassin määrä ka (tn)	859,8

OPTIMOINNIN JÄLKEEN					
	1-Keitto	2-Keitto	3-Keitto	4-Keitto	SUMMA
Keittomehun ln (tn)	139 305	59134	25343	10430	<-- Muutettu
Edellisestä vaiheesta saapuvan liuoksen Rk	74,7 %	74,3 %	73,2 %	75,1 %	
Keittomehun ka (tn)	104060	43937	18551	7833	
Saanto %	52 %	52 %	52 %	52 %	
Loppukeiton massan Rk	90 %	90 %	90 %	90 %	
Massan määrä, kun Rk 90 (tn)	115623	48818	20612	8703	
Massasta sokereita ka (tn)	104060	43937	18551	7833	
Keittovaiheen %-osuus	60 %	25 %	11 %	5 %	
Sokerin määrä (tn)	60124	25386	10718	4526	100753
Haihdutettavan veden määrä (tn)	23682	10316	4731	1727	40455
Ryönän määrä ennen laimennusta (tn)	55499	23433	9894	4177	
Ryönän Rk ennen laimennusta	79 %	79 %	79 %	79 %	
Ryönän sokerit (tn)	43937	18551	7833	3307	

Laimennus/linkous

	2-Mehu	3-Mehu	4-Mehu	5-Mehu	Summa
Mehun Rk	74,3 %	73,2 %	75,1 %	76,0 %	6254
Laimennusveden määrä (tn)	3635	1910	536	173	
Mehun määrä (tn-luonnonpaino)	59134	25343	10430	4350	
Mehun sokerit (tn-kuiva-aine)	43936	18551	7833	3307	

Jälkipää (Jälkipään keitot A, B ja C on ajateltu yhdeksi keitoksi)

Jälkipään keitto	
Keittomehu ln (tn)	4350
Edellisestä vaiheesta saapuvan liuoksen Rk	76,0 %
Keittomehun ka (tn)	3307
Keittomehun tuhkapitoisuus ka(%)	1,9 %
Puhdistamomelassin tuhkapitoisuus ka (%)	8,5 %
Melassin määrä ka (tn)	739,2

Kokonais-säästöt (€)	
Teollisuuskiteen ja prosessimelassin hintaero (€/tn)	590,64
Säästö melassin vähenemisestä (€)	71222
Kiteen uudelleen käsittelyn hinta jälkipäässä (€/tn)	40
Säästö uudelleen käsittelyn vähentymisestä jälkipäässä (€)	30126
Höyryn kulutus (tn/tn haihdutettavaa vettä)	1,03
Höyryn hinta (€/tn höyryä)	22,5
Säästö höyrykustannuksissa (€)	31083,0
YHTEENSÄ	132430,9 €